



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **ESTUDIO COMPARATIVO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE DIFERENTES ENFOQUES EN LA DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS URBANOS**

Trabajo realizado por:

*Blanca Ruiz del Olmo de Simón*

Dirigido:

*Saúl Torres Ortega*

Titulación:

**Grado en Ingeniería Civil**

Santander. Diciembre 2018

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO**

**TITULO:** ESTUDIO COMPARATIVO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE DIFERENTES ENFOQUES EN LA DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS URBANOS.

**AUTOR:** BLANCA RUIZ DEL OLMO DE SIMÓN

**DIRECTOR:** SAÚL TORRES ORTEGA

**PALABRAS CLAVE:** Viabilidad económica, servicios urbanos, simulación, Montecarlo, rentabilidad

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se va a estudiar la viabilidad económica de los diferentes enfoques en la distribución de los servicios urbanos a lo largo de distintas calles tipo.

Se va a hablar tanto de la realización de servicios urbanos aislados colocados a lo largo de las calles mediante zanjas, como de la opción de una galería visitable en la que se sitúen todos los servicios.

Estas dos opciones se van a colocar en calles de distintos tamaños. Por un lado, se va a hablar de calles de sentido único, con una anchura de 12,9 metros, por otro, de calles de doble sentido con un carril por sentido, éstas van a ser iguales que las anteriores, pero con un carril de 3,5 metros más, es decir, serán calles con una anchura de 16,4 metros. Y por último se va a hablar de las avenidas, calles de doble sentido con dos carriles por sentido y una mediana peatonal, éstas son las calles importantes, con una anchura de 31,8 metros y que abastecen a una mayor cantidad de población y comercios, por lo que, en este tipo de calles, se van a colocar duplicados los mismos servicios que en los dos casos anteriores.

El principal objetivo de este trabajo es estudiar en qué casos es viable la colocación de las galerías frente a un sistema tradicional de enterramiento mediante zanjas. Para ello, se ha estudiado la normativa vigente con relación a los tamaños de las zanjas, separaciones mínimas, materiales a utilizar para los rellenos y apoyos, diámetros y materiales de las tuberías, profundidades, separaciones entre servicios etc.

No toda la normativa relativa a instalaciones está específicamente redactada para las galerías de servicio, de hecho, en la mayoría de los casos ni siquiera se nombra, es por ello por lo que se va a analizar la compatibilidad entre las instalaciones urbanas para determinar la separación necesaria e influencias entre las distintas canalizaciones de agua potable, gas, telefonía, electricidad, alumbrado público, drenaje y saneamiento.

Una vez se tiene clara la normativa, el siguiente paso que se va a realizar es el diseño de las secciones, como se van a colocar los diferentes servicios y la galería en los tres tipos de calles mencionados anteriormente.

Para la galería se va a utilizar un marco de hormigón prefabricado de 2x3 metros. Se va a diseñar la galería tanto horizontal como verticalmente, aunque finalmente se opta por colocarla de forma horizontal debido a requerimientos ergonómicos y con el fin de acceder fácilmente a todos los servicios de la galería con mayor facilidad.

Para poder llegar a saber en qué casos la galería es la opción más viable, es necesario realizar un estudio que muestre cuáles son los costes de construcción. Éstos serán los costes iniciales, desde los que se parte, para posteriormente hacer un estudio de los costes de vida útil.

**Tabla 1: Costes de construcción**

CALLE	Servicios Aislados (€/ml)	Galería (€/ml)
<b>Sentido Único</b>	586,20	1.689,31
<b>Doble Sentido</b>	628,54	1.736,11
<b>Avenida</b>	1.166,37	2.229,41

A los costes de construcción de la Tabla 1, hay que añadirles los gastos de mantenimiento y futuras reparaciones debido a que no son servicios infinitos. Es por esto, por lo que se va a suponer que cada servicio se debe revisar, ya sea por avería o por mantenimiento, cada un número determinado de años. Para ello se ha creado un escenario de sucesos en el cual se supone que:

- La red de **telefonía** se debe revisar o sustituir cada **5 años**.
- La red de **gas** cada **10 años**.
- Red de **Abastecimiento** cada **15 años**.
- Red de **drenaje y saneamiento** cada **15 años**.
- **Electricidad** cada **20 años**.
- Red de **Alumbrado Público** cada **30 años**.

Teniendo en cuenta todas estas reparaciones, los costes totales una vez han transcurrido 30 años se resumen en la Tabla 2:

**Tabla 2: Costes totales pasados 30 años**

CALLE	Servicios Aislados (€/ml)	Galería (€/ml)
<b>Sentido Único</b>	1.267,48	1.689,31
<b>Doble Sentido</b>	1.309,82	1.736,11
<b>Avenida</b>	2.529,25	2.229,41

Debido a que no se puede saber con certeza cada cuánto tiempo exacto hay que revisar, ni hay manera de saber cuando se puede averiar, se va a realizar un análisis probabilístico mediante una simulación de Montecarlo.

Este proyecto abordará diferentes vidas útiles, una estándar, una optimista y una pesimista, así como diferentes horizontes de 30, 50 y 100 años. Es decir, se realizarán tres cálculos para cada uno de los horizontes. Para calcular la probabilidad de fallo del caso estándar, se va a utilizar el escenario de sucesos especificado anteriormente. Para el cálculo optimista, la probabilidad de fallo de los diferentes servicios se reducirá a la mitad de la anterior, y finalmente, para un cálculo pesimista, las probabilidades de fallo se duplicarán. Quedando tal y como se reflejan en la Tabla 3.

**Tabla 3: Probabilidades de fallo de las distintas vidas útiles**

Servicio	Vida Útil		
	Pesimista	Estándar	Optimista
Telefonía	0,4	0,2	0,1
Gas	0,2	0,1	0,05
Abastecimiento	0,1334	0,0667	0,03335
Drenaje y Saneamiento	0,1334	0,0667	0,03335
Alumbrado Público	0,0668	0,034	0,017
Electricidad	0,1	0,05	0,025

Gracias a este tipo de simulación se puede realizar un gran número de iteraciones en un periodo de tiempo muy breve. En el presente trabajo se van a realizar 1000 iteraciones de cada caso, esto quiere decir que al ejecutar la simulación Montecarlo, ésta va a realizar un mismo cálculo 1000 veces, va a calcular 1000VAN y los va a agrupar en un histograma que mostrará los datos más comunes mediante picos, mostrando entre qué valores se mueve acotados entre un valor mínimo y un máximo.

Tras el análisis realizado, se ha podido concluir que las zanjas son casi siempre la mejor opción desde un punto de vista económico, solo es viable la construcción de una galería visitable en los casos de grandes avenidas (en el caso estándar y pensando en un horizonte de 100 años, la construcción de la galería es viable un 28% de las veces), mientras que en casos pesimistas, es siempre la mejor opción.

La justificación económica queda por tanto, reducida a comparar los costes derivados de la instalación de los servicios enterrados (con sus gastos del mantenimiento y explotación, de repercusiones sobre el pavimento y del control de los servicios) con los gastos derivados de la construcción de las galerías (incluyendo los gastos de la instalación de los servicios, del mantenimiento y explotación).

En esta comparación deberían añadirse otro tipo de cuestiones no económicas, como son los costes sociales de la población que habita o circula por la zona. O cuestiones de seguridad, ya que, un dato importante es la falta de precisión en la localización de las averías y su consiguiente retraso en las reparaciones. Estimaciones realizadas señalan que los daños sufridos por los servicios en galerías, frente a su emplazamiento enterrado, se reducen hasta en el 90%.

Por tanto, hablando en términos puramente económicos, la solución propuesta de las galerías de servicios no resulta ventajosa. Sin embargo, en cuanto se le añaden otro tipo de cuestiones, tanto sociales, de accesibilidad, de seguridad, comodidad, durabilidad... las galerías ganan terreno frente a las zanjas.

**TITLE:** COMPARATIVE STUDY OF ECONOMIC VIABILITY OF DIFFERENT APPROACHES IN THE DISTRIBUTION OF URBAN SERVICES.

**AUTHOR:** BLANCA RUIZ DEL OLMO DE SIMÓN

**DIRECTOR:** SAÚL TORRES ORTEGA

**KEY WORDS:** Economic feasibility, urban services, simulation, montecarlo, profitability.

## **ABSTRACT**

This project aims to study the economic viability of different approaches in the distribution of urban services along different type of streets.

It will discuss the realization of isolated urban services, placed along the streets by ditches. As well as the option of a visitable gallery in which all the services are located together.

These two options are going to be placed on streets of different sizes. First, one-way streets with a width of 12.9 meters; secondly, two-way streets with a lane in each direction, these will be the same as the previous ones, but with an additional lane of 3.5 meters, i.e. these will have a total width of 16,4 meters; and finally, avenues, two-way streets, with two lanes in each direction and a pedestrian median, these are main streets, with a width of 31,8 meters and supply a greater amount of population and businesses, for which, in this type of streets, the same services as in the previous two cases will be duplicated.

The main aim of this project is to study in which cases it is viable to place underground service galleries instead of a traditional trenching and burying system. For this purpose, current regulations have been studied in relation to the size of trenches, minimum separations, materials to be used for the fillings and support, diameters and materials of pipes, depths, separations between services, etc.

Not all regulations regarding facilities are specifically detailed for service galleries, in fact, in most cases it is not even mentioned. For this reason, the project will analyze the compatibility between different urban facilities to be able to determine the necessary separation between different pipes; water, gas, communications, electricity, public lighting, drainage and sanitation lines.

After studying the regulations, the next step is to design the sections, how to place the different services and the gallery in the three types of streets mentioned above.

For the gallery, a prefabricated concrete frame of 2x3 meters will be used. The gallery will be designed both horizontally and vertically, opting for a horizontal design in order to have easier access to all parts inside the gallery.

In order to know in which cases the gallery is the most feasible option, it is necessary to carry out a study to calculate the costs of construction. These will be the initial costs, from which to part, to obtain a later study of useful life costs.

**Table 4: Construction costs**

STREET	Isolated Services (€/ml)	Gallery (€/ml)
<b>One-Way</b>	586,20	1.689,31
<b>Two-Way</b>	628,54	1.736,11
<b>Avenue</b>	1.166,37	2.229,41

To the construction costs on Table 4, we must add the maintenance costs and future repairs, since they are not infinite services. For this, it will be assumed that each service must be reviewed either because of breakdown or for maintenance every certain number of years. An event scenario has been created in which it is assumed that:

- The **telephone** network must be revised or replaced every **5 years**.
- The **gas** network every **10 years**.
- **Water supply** network every **15 years**.
- **Drainage and sanitation network** every **15 years**.
- **Electricity** every **20 years**.
- **Public Lighting** network every **30 years**.

Considering all these repairs, the total costs after 30 years are summarized in Table 5:

**Table 5: Total Costs after 30 years**

STREET	Isolated Services (€/ml)	Gallery (€/ml)
<b>One-Way</b>	1.267,48	1.689,31
<b>Two-Way</b>	1.309,82	1.736,11
<b>Avenue</b>	2.529,25	2.229,41

As it is not possible to know exactly when and how often it will need checking, or be damaged, a probabilistic analysis will be carried out using a Montecarlo simulation.

This project will approach different useful lives, a standard, an optimistic and a pessimistic one, as well as different horizons of 30, 50 and 100 years. That is, three calculations will be done for each of the horizons. To calculate probability of failure for our standard useful life option, the event scenario used is the one specified above. For

the optimistic calculation, the probability of failure of the different services will be reduced by half of this previous one, and finally, for a pessimistic calculation, the probabilities of failure will be doubled.

**Table 6: Probability of failure of different lifetimes**

Services	Lifetime		
	Pessimistic	Pessimistic	Pessimistic
Communications	0,4	0,2	0,1
Gas	0,2	0,1	0,05
Water supply	0,1334	0,0667	0,03335
Drainage and sanitation	0,1334	0,0667	0,03335
Public Lighting	0,0668	0,034	0,017
Electricity	0,1	0,05	0,025

As a result of this type of simulation, a large number of iterations may be performed in a very short period of time. In the present project, 1000 iterations of each case will be done, this means that when executing the Montecarlo simulation, it will perform the same calculation 1000 times, it will calculate 1000NPV and will group them in a histogram that will show the most common data by peaks, displaying between which minimum and maximum values it moves.

After the analysis, it is possible to conclude that ditches or trenches are almost always the best option from an economical point of view. The only case in which the construction of a visitable gallery is economically viable, is in the case of large avenues. In the standard useful life case, with a horizon of 100 years, the construction of the gallery is viable in 28% of the cases studied, while, in all pessimistic cases, results to be the best option.

The economic justification would therefore be reduced to comparing the costs derived from the installation of the underground services (including expenses of maintenance and exploitation, repercussions on pavement, and control of all services) with expenses derived from the construction of underground galleries (including all installations along these of the various services, as well as maintenance and exploitation).

In this comparison, another type of non-economic issues should be considered, such as social costs of population that live or transit through the area. Safety matters should also be taken in mind, as well as precision and quick location of breakdowns which would avoid delays in repairs. Studies reveal that damages suffered by services in galleries vs. trenches, are reduced by up to 90%.

Therefore, speaking in purely economic terms, the proposed solution of service galleries is not advantageous. However, as soon as other issues are taken into account, as could be social issues, accessibility, security, comfort, durability, and others, the galleries gain ground against trenches.



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS.....	12
<b>2</b>	<b>DISEÑO DE SECCIONES URBANAS.....</b>	<b>13</b>
2.1	SERVICIOS AISLADOS (ZANJAS).....	13
2.1.1	Distribución de agua.....	14
2.1.2	Drenaje y saneamiento .....	15
2.1.3	Distribución eléctrica .....	16
2.1.4	Alumbrado público .....	17
2.1.5	Distribución de gas .....	18
2.1.6	Red de telecomunicaciones .....	19
2.1.7	Colocación en la sección de la calle.....	20
2.2	GALERÍAS.....	21
2.2.1	Normativa aplicable a las Galerías. ....	22
2.2.2	Propuesta de Galería.....	26
2.3	PLANO DETALLE ZANJAS.....	30
2.4	PLANO DETALLE GALERIAS.....	31
<b>3</b>	<b>CASOS DE ESTUDIO .....</b>	<b>32</b>
3.1	SENTIDO ÚNICO .....	34
3.1.1	Zanja .....	34
3.1.2	Galería.....	35
3.2	DOBLE SENTIDO .....	36
3.2.1	Zanja .....	36
3.2.2	Galería.....	37
3.3	AVENIDA .....	38
3.3.1	Zanja .....	38
3.3.2	Galería.....	39
<b>4</b>	<b>COSTES DE CONSTRUCCIÓN. ....</b>	<b>40</b>
4.1	SENTIDO ÚNICO .....	42
4.1.1	Zanja .....	42
4.1.2	Galería.....	43
4.2	DOBLE SENTIDO .....	44
4.2.1	Zanja .....	44
4.2.2	Galería.....	45
4.3	AVENIDA .....	46
4.3.1	Zanja .....	46
4.3.2	Galería.....	47
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL .....</b>	<b>48</b>
5.1	ANÁLISIS PROBABILISTICO .....	52
5.2	INTRODUCCIÓN A LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	53
5.3	RESULTADOS .....	55
5.3.1	Estudio base.....	55
5.3.2	Estudio de diferentes vidas útiles .....	56
5.3.3	Estudio de diferentes horizontes.....	58
5.3.4	Graficas .....	59
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>LECCIONES APRENDIDAS .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>BILIOGRAFÍA .....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>76</b>

10	INDICE DE TABLAS .....	77
----	------------------------	----

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día las ciudades son el lugar del territorio en el que reside más del 50% de población mundial (en el caso de España, el 70% de la población vive en grandes áreas urbanas). Según las Naciones Unidas, para el 2050, este porcentaje puede llegar a ascender hasta el 66%. Es por esto, que los ingenieros civiles tienen un papel importante en el diseño urbanístico.

Dentro del diseño de las ciudades, uno de los puntos más relevantes es el diseño de los sistemas de redes de abastecimiento. Las entrañas de las ciudades entierran un sinfín de conducciones imprescindibles para la vida cotidiana. Los servicios de abastecimiento de agua, el servicio de alcantarillado, el servicio de gas, tuberías de calefacción, cables eléctricos, telefonía, transportes líquidos, gaseosos, etc...Estos elementos sufren fallos que obligan a levantar periódicamente el pavimento para restablecer el servicio.

Ante este hecho, solo pueden plantearse dos alternativas. O nos acostumbramos a las zanjas, o pensamos en sistemas que nos garanticen la ausencia de influencia sobre los pavimentos de nuestras ciudades, como sería la construcción de una galería de servicios visitable que contenga todos los sistemas de abastecimiento.

En el caso de enterramiento mediante zanjas, conforme va pasando el tiempo, las redes de distribución se van deteriorando. Los problemas de corrosión o deposiciones en su interior disminuyen su capacidad. Al mismo tiempo, estos sistemas deben ser capaces de hacer frente a las continuas y cambiantes necesidades de la población a la que atienden, adaptándose a las crecientes demandas de consumo y expansión de las zonas de suministro. Los gestores de la red deben, por tanto, asumir grandes inversiones para mantener la red actualizada con nuevos proyectos de diseño y rehabilitación en la misma para que el servicio sea adecuado en términos de cantidad y calidad.

Las galerías de servicios son la solución racional, a largo plazo, al actual caos existente en las canalizaciones y conductos de comunicación de todo tipo en las calles.

Estas galerías sustituirán el actual caos existente en el subsuelo de la población, mejorando considerablemente la seguridad, la eficiencia, la salud y la presencia estética. Pero hay ventajas específicas para cada servicio:

- En el caso del agua, el cambio puede representar una mejora de la calidad del líquido, debido a la sustitución de conducciones y juntas que depositan en ella materias nocivas para la salud de los consumidores.
- En el caso del gas, el incremento de la seguridad puede ser notable, al ser el nuevo sistema más eficaz para hacer frente a futuros problemas de fugas.
- En el caso de las líneas de telefonía, así como también la televisión y las emisoras de radio, se facilita enormemente la modernización de las instalaciones, con la implantación de las conducciones por cable de fibra óptica.

- En el caso del suministro del fluido eléctrico y las emisoras, el cambio puede representar un ahorro considerable a largo plazo, además de una disminución de las interferencias.
- En el caso de servicios futuros, las galerías ponen al Ayuntamiento en una situación privilegiada de poder ofrecer un sistema reglado de conducciones a los particulares.

## 1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es poder estimar en qué casos es rentable la implantación de una galería visitable que contenga todos los servicios de abastecimiento en lugar de la colocación tradicional de enterramiento mediante zanjas.

Para ello se ha procedido a estudiar la normativa vigente con relación a las dimensiones mínimas de las diferentes zanjas, separaciones mínimas entre servicios, materiales a utilizar para los rellenos y apoyos, diámetros y materiales de las diferentes tuberías en función de su utilidad, etc...

Una vez se tiene clara la normativa, se procede a diseñar las diferentes secciones de las calles y la colocación de los servicios en cada una de ellas. Las calles tipo que se han diseñado para este proyecto son:

- Calle de sentido único.
- Calle de doble sentido, con un carril para cada sentido.
- Avenida, con dos carriles por sentido y una mediana peatonal que separa ambos sentidos.

Con el fin de conocer los casos en los que la galería de servicios es viable, es necesario calcular cuáles son los gastos de construcción iniciales y posteriormente añadir los gastos correspondientes a mantenimiento y reparaciones en diferentes horizontes. En este proyecto se va a hablar de 30, 50 y 100 años.

Finalmente se va a realizar un análisis probabilístico mediante una simulación de Montecarlo con diferentes vidas útiles, optimista, estándar y pesimista, y esto para cada uno de los horizontes.

Para ello, el presente trabajo se articula de la siguiente manera:

Un apartado donde se va a estudiar el diseño de las diferentes secciones urbanas, tanto para los servicios aislados como para las galerías. Otro apartado donde se va a hablar de los casos de estudio, es decir, cómo están diseñadas las calles de sentido único, doble sentido y avenidas. Un tercer apartado que contiene los gastos de construcción de los seis casos de estudio. Y finalmente un último apartado que habla del análisis de vida útil en el que se realiza un escenario de sucesos con el fin de conocer los gastos totales pasados 30, 50 y 100 años.

## 2 DISEÑO DE SECCIONES URBANAS

El primer paso a realizar es el estudio de cómo realizar la distribución de los diferentes servicios a lo largo de la calle, por ello, en este apartado se va a estudiar la normativa vigente, las distancias mínimas entre servicios, los materiales etc.

Por un lado, se estudia la colocación de los servicios urbanos aislados en sus diferentes zanjas. Para esto, hay que estudiar los tamaños (profundidad, anchura...), las tuberías a utilizar, las separaciones mínimas, etc...

Por otro, se propone un diseño en el que la distribución tradicional mediante enterramiento en zanjas bajo el pavimento se cambie por una galería visitable que contenga todos los servicios y como colocar los diferentes servicios dentro de ésta para que cumpla la Normativa.

Los servicios que se van a colocar en cada una de las calles son:

- Distribución de Agua.
- Drenaje y Saneamiento.
- Distribución Eléctrica.
- Alumbrado Público.
- Distribución de Gas.
- Red de Telecomunicaciones.

Las tuberías a utilizar van a ser las mismas en ambos casos, tanto para las zanjas como para la galería, ya que el escenario va a ser el mismo, y la distribución no cambia.

### 2.1 SERVICIOS AISLADOS (ZANJAS)

En este primer caso se plantea una distribución aislada, esto es, en donde cada servicio tiene su propia zanja delimitada por un espacio horizontal y vertical. Los servicios no tienen interacciones entre sí. Es necesario sin embargo, tener dos consideraciones.

Por un lado, la profundidad de las zanjas, que se determina de forma que las tuberías resulten protegidas de los efectos del tráfico y de las cargas exteriores, así como preservados de las variaciones de temperatura del medio ambiente.

Por otro lado, el ancho de la zanja, que depende del tamaño de los tubos, profundidad de la zanja, taludes de las paredes laterales, naturaleza del terreno y consiguiente necesidad o no de entibación, etc...

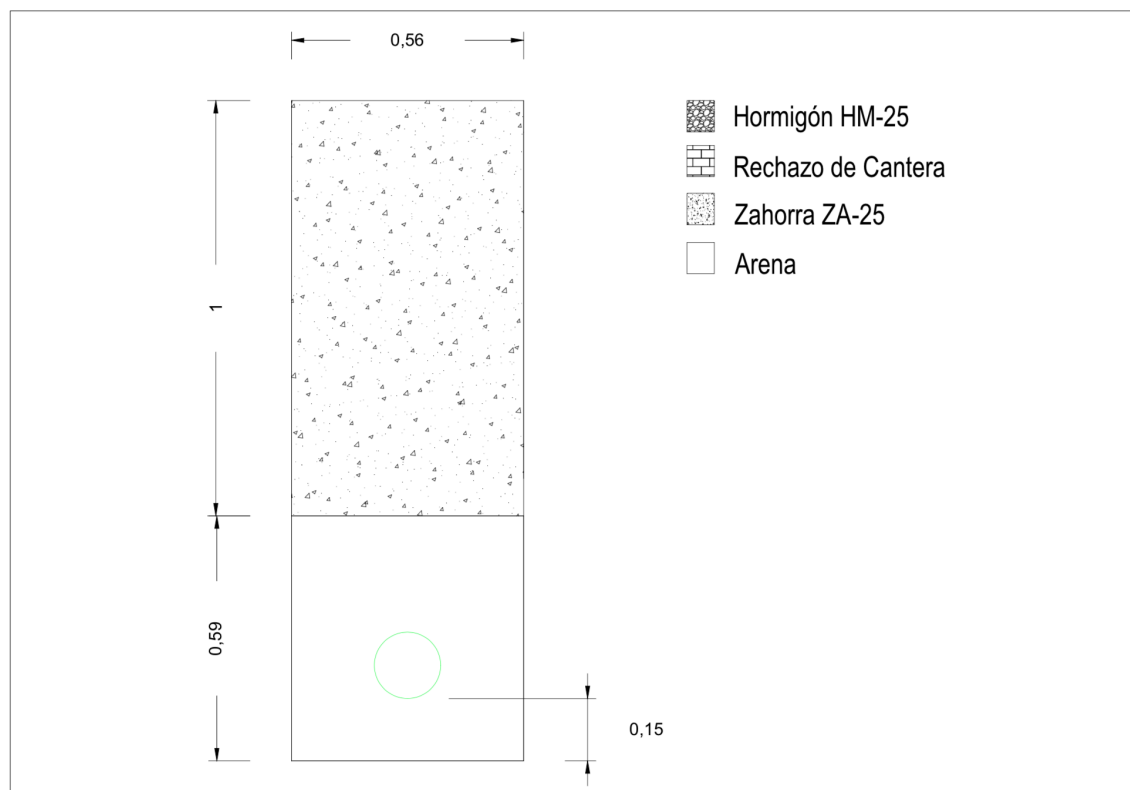
A continuación, se pasa a estudiar los requerimientos que se plantean para cada uno de los distintos sistemas de abastecimiento.

### 2.1.1 Distribución de agua

Para la zanja de distribución de agua se establecen unas dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas. Estas, son las que se recogen a continuación:

- Diámetro tubería: 60mm – 600cm.
- Ancho mínimo: 50cm ( $D + 0,4m$ )
- Separación de fondo: 15cm.
- Recubrimiento arena: 10cm.
- Recubrimiento total: 1,10m (Zahorra estabilizada. Proctor 95%)
- Profundidad total de la zanja:  $1,25 + D$ .

Se muestra representado en la Figura 1:



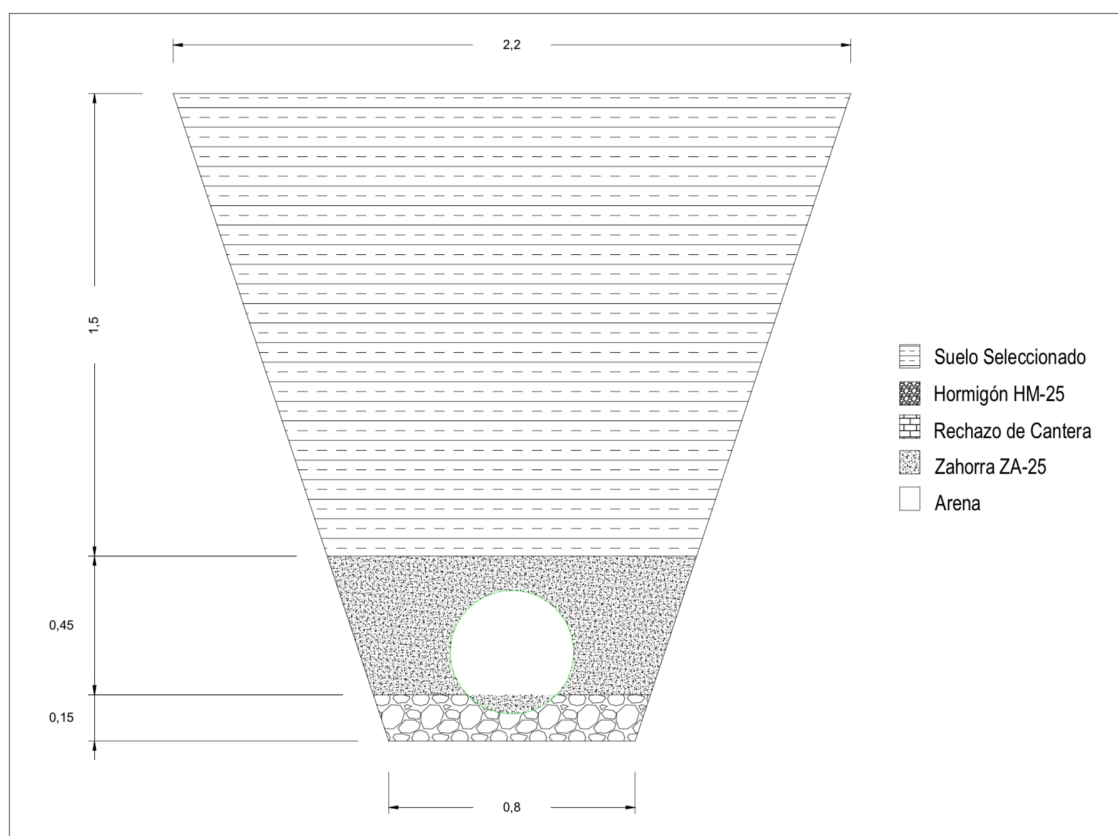
**Figura 1: Zanja de Distribución de Agua Potable**

### 2.1.2 Drenaje y saneamiento

En cuanto a la zanja tipo de la red de drenaje y saneamiento las dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas son las que se recogen a continuación:

- Diámetro tubería: 20cm – 60cm.
- Ancho mínimo: 90cm ( $D + 0,6m$ )
- Separación de fondo: 10cm.
- Recubrimiento hormigón masa: Hasta mitad de la tubería.
- Recubrimiento arena: Hasta 20cm. por encima de la tubería.
- Recubrimiento total: 1,10m (Zahorra estabilizada. Proctor 95%)
- Profundidad total de la zanja:  $1,50 + D$ .

Se muestra representado en la Figura 2:



**Figura 2: Zanja para el Drenaje y Saneamiento**

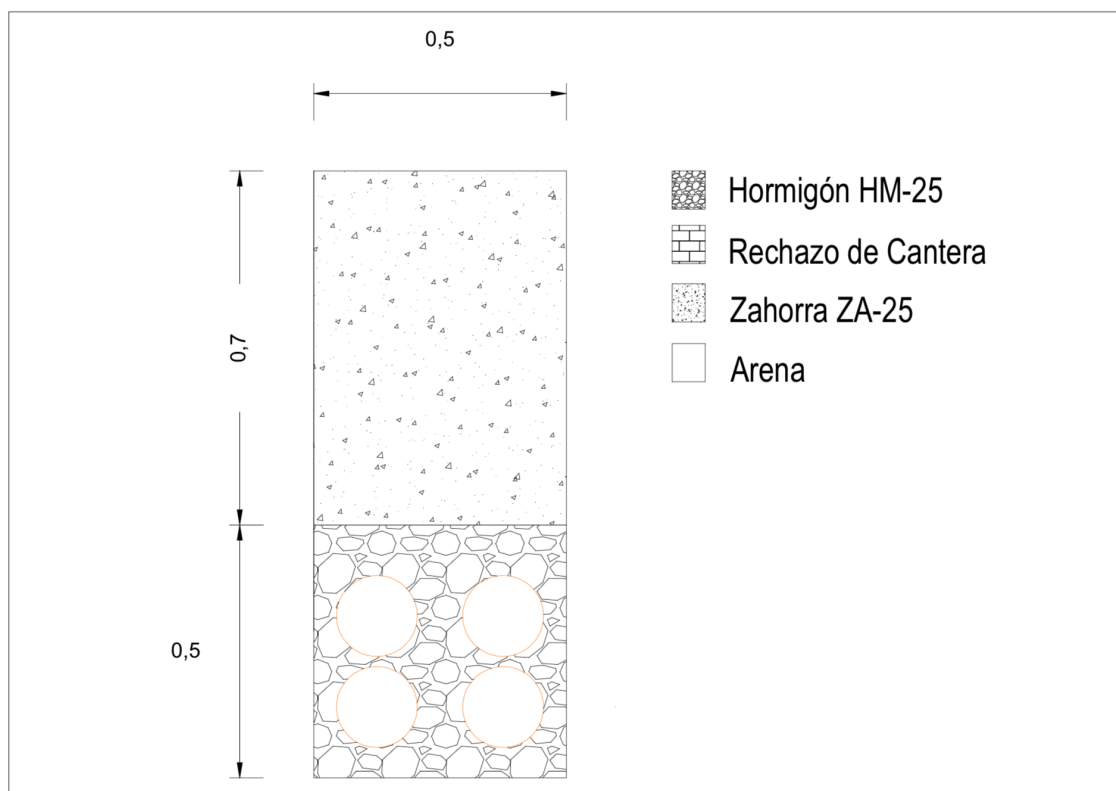
### 2.1.3 Distribución eléctrica

En la zanja tipo de la red de distribución eléctrica las dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas son las que se recogen a continuación:

Diámetro tubos PVC: 60cm.

- Separación entre tubos: 50mm.
- Ancho mínimo: 0,45
- Separación de fondo: 5cm. Hormigón en masa.
- Recubrimiento mínimo: 10cm. por encima de la tubería.
- Relleno hormigón: Hasta 10cm. por encima de la tubería.
- Relleno superior: 0,40m (Zahorra estabilizada. Proctor 95%)
- Profundidad total de la zanja > 0,85m.

Se muestra representado en la Figura 3:



**Figura 3: Zanja de Distribución Eléctrica**

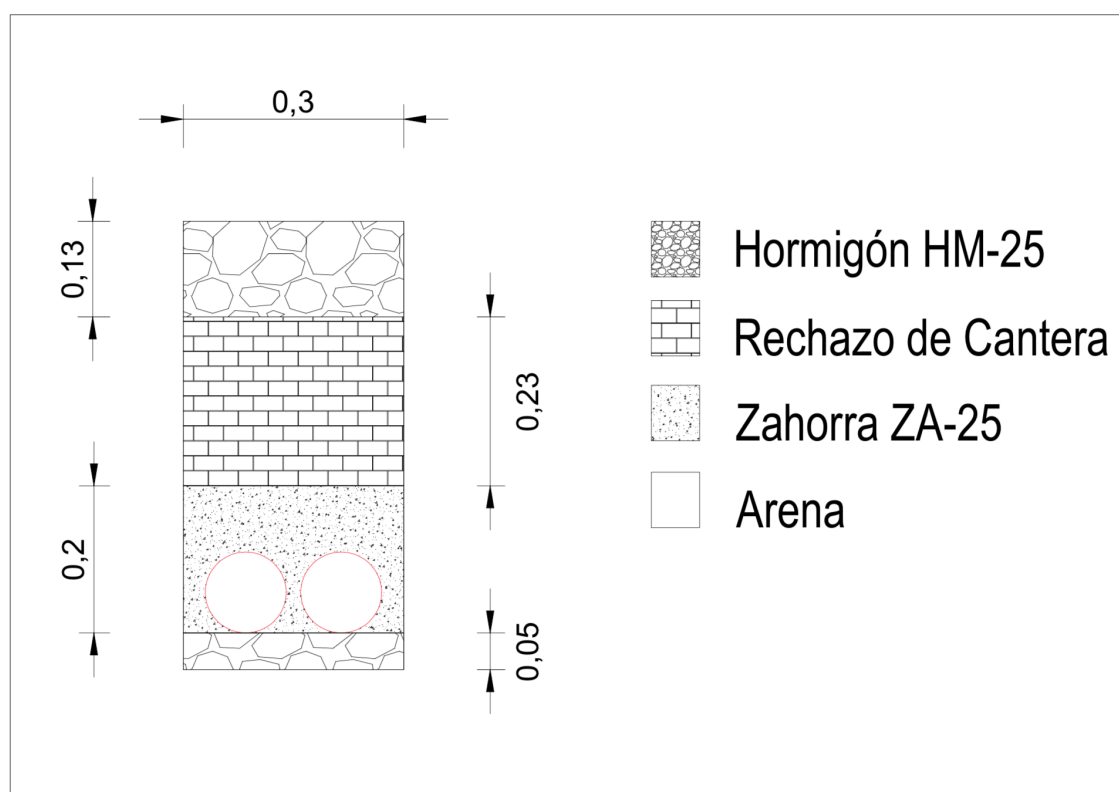


#### 2.1.4 Alumbrado público

En la zanja tipo de la red de alumbrado público las dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas son las que se recogen a continuación:

- Diámetro tubos PVC: 60mm.
- N° de Tubos: 1
- Ancho mínimo: 0,44cm.
- Separación de fondo: 5cm. Capa de arena.
- Relleno Superior: 0,50m (zahorra estabilizada. Proctor 95%)
- Profundidad total de la zanja > 60cm.

Se muestra representado en la Figura 4:



**Figura 4: Zanja para la distribución de Alumbrado Público**

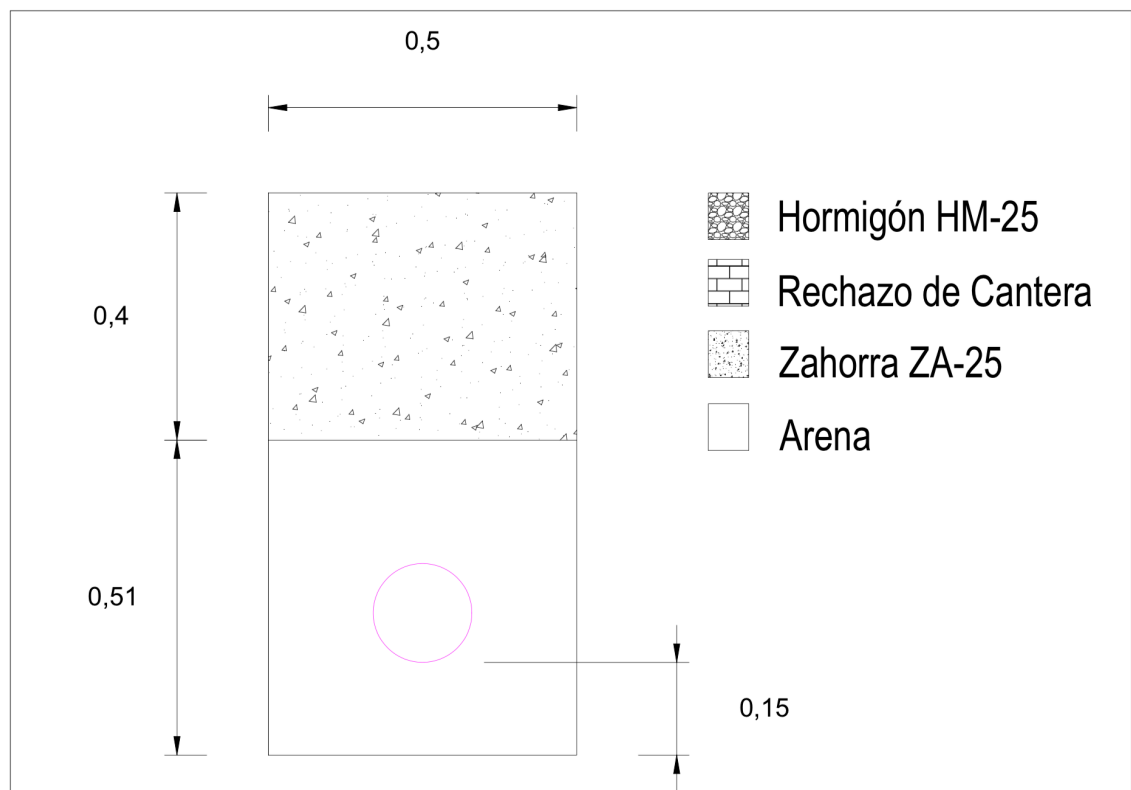
### 2.1.5 Distribución de gas

En la zanja tipo de la red de distribución de gas las dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas son las que se recogen a continuación:

Tubería de acero estirado

- Diámetro del tubo: 50mm.
- Nº de Tubos: 0,50cm.
- Separación de fondo: 10cm. Asiento de arena.
- Relleno cubrición: 0,10m. Arena desde el fondo.
- Profundidad total de zanja > 0,65cm.

Se muestra representado en la Figura 5:



**Figura 5: Zanja para la Distribución de Gas**

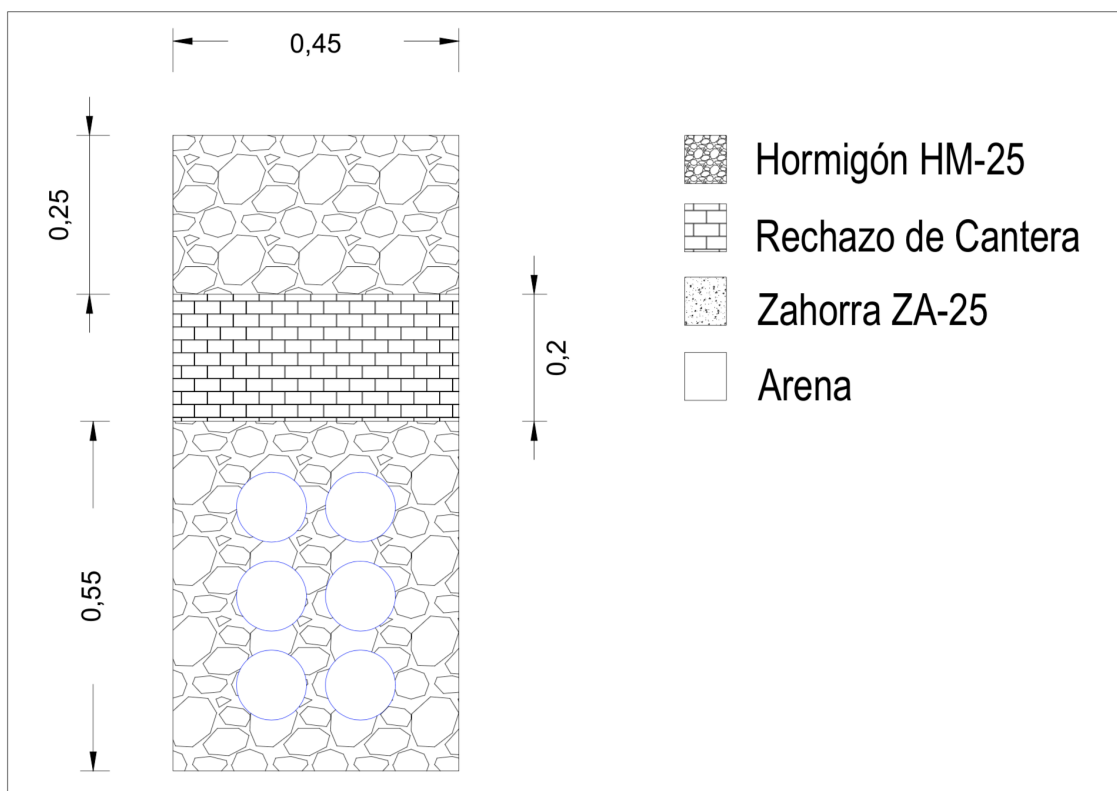
### 2.1.6 Red de telecomunicaciones

En la zanja tipo de la red de telecomunicaciones las dimensiones mínimas basadas en criterio experto y experiencia de buenas practicas son las que se recogen a continuación:

Diámetro tubo PVC: 60mm.

- Separación entre tubos: 50mm.
- Ancho mínimo: 0,45cm.
- Separación de fondo: 5cm. Hormigón en masa.
- Recubrimiento mínimo: 10cm. Por encima de la tubería.
- Relleno hormigón: Hasta 10cm. Por encima de la tubería.
- Relleno superior: 0,40m. (Zahorra estabilizada. Proctor 95%)
- Profundidad total de la zanja > 0,85cm.

Se muestra representado en la Figura 6:



**Figura 6: Zanja para la Distribución de la Red de Telecomunicaciones.**

### 2.1.7 Colocación en la sección de la calle

A la hora de realizar la colocación de los distintos servicios a lo largo de la calle de estudio, es necesario conocer la normativa vigente para su aplicación.

A continuación, se indican las distancias mínimas que deben respetarse, conforme la normativa vigente entre las tuberías de conducción de agua potable y el resto de las instalaciones. (Tabla 7)

Tabla 7: Separaciones mínimas entre las instalaciones urbanas

Instalaciones de Agua	Separación Horizontal	Separación Vertical
Alcantarillado	60cm.	50cm.
Gas	50cm.	50cm.
Electricidad – Alta	30cm.	30cm.
Electricidad – Baja	20cm.	20cm.
Telefonía	30cm.	-

La tubería de distribución de agua debe estar por debajo de las redes eléctricas, gas y telecomunicaciones y por debajo de ella solo el saneamiento. La distancia mínima entre los cables de energía eléctrica y canalizaciones de agua será de 0,2m. La solución optada para cumplir con la normativa se ve representada en la Figura 7.

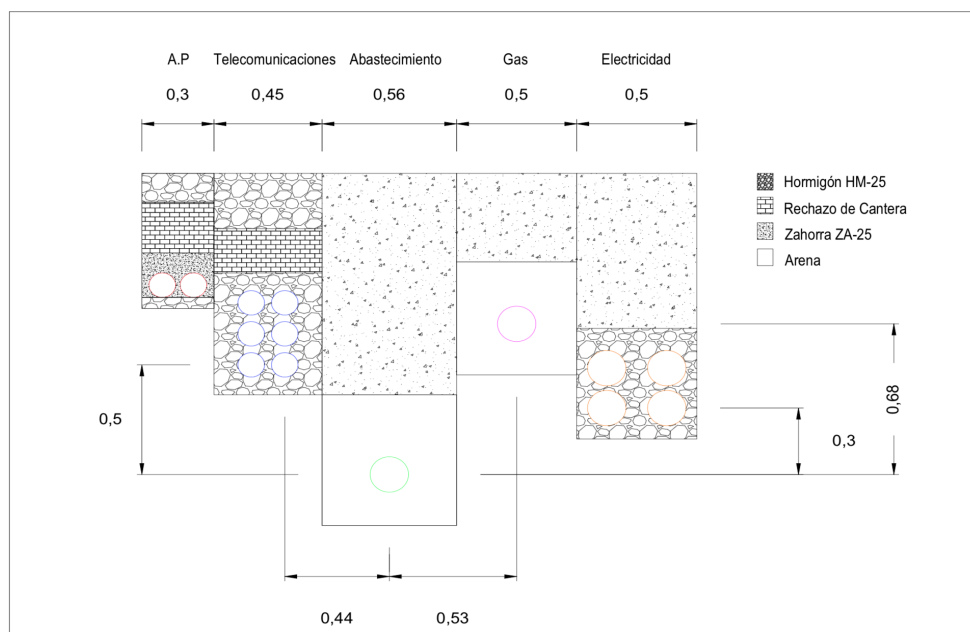


Figura 7: Colocación de las distintas zanjas

## 2.2 GALERÍAS

Las galerías son sistemas de colección de instalaciones urbanas que, por sus características y dimensiones, permiten un fácil acceso en cualquier punto de su recorrido. Son construcciones subterráneas que permiten llevar los servicios públicos a las diferentes zonas de la ciudad.

El uso de estas galerías, aportan una amplia relación de ventajas en lo que afecta a su utilidad y sostenibilidad que fundamentalmente se hacen patentes a lo largo de la vida útil de la misma, sobretodo en las calles tipo Avenida.

Los principales beneficios de las galerías se podrían resumir en:

- Accesibilidad permanente a las redes, lo que permite su mantenimiento, un control continuo y una reparación inmediata.
- Organización estructurada. Posibilidad de superposición de redes, lo que incide en economía de espacios y racionalización en la utilización del subsuelo.
- Se reducen los tiempos de trabajos y reparaciones, y en consecuencia el coste de mano de obra.
- Se optimiza la gestión de residuos producidos por las obras.
- Se elimina la necesidad de realizar parcheos en las calzadas.
- Se eliminan los riesgos, molestias y ruidos que producen las obras.
- Se eliminan los riesgos de rotura accidental de cables y conducciones.
- Se optimiza el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las redes.
- Facilidad de mantenimiento y acceso. Por lo que se reducen las averías y escapes de las redes al poderse controlar visualmente.
- Se facilita la sustitución de redes antiguas y la incorporación de redes nuevas.

Los servicios canalizables a través de las galerías pueden ser variados, generalmente se encuentran los siguientes:

- Agua potable.
- Agua de riego.
- Aguas residuales.
- Energía eléctrica.
- Calefacción.
- Gas.
- Cables telefónicos.
- Cables de fibra óptica.
- Redes informáticas.
- Servicios municipales (alumbrado, semáforos...).

### 2.2.1 Normativa aplicable a las Galerías.

Todo diseño de las instalaciones en el interior de la galería de servicios debe cumplir la normativa y recomendaciones vigentes. Sin embargo, no toda la normativa relativa a instalaciones esta específicamente redactada para las galerías de servicio, de hecho, en la mayoría de los casos ni si quiera se nombra.

A continuación, se va a analizar la compatibilidad entre las instalaciones urbanas, para determinar la separación e influencias entre las distintas canalizaciones. Se recopilan y analizan las normativas y recomendaciones tanto para galerías como para el enterramiento tradicional (zanja)

### Normas tecnológicas para la edificación (NTE)

Según la norma tecnológica de la edificación NTE-IFA “Instalaciones de Fontanería. Abastecimiento” (MOP 1976) cuyo ámbito de aplicación son aquellas instalaciones para suministros de agua potable a núcleos residenciales.

En el apartado de “Separación con otras instalaciones: Las conducciones de abastecimiento de agua estarán separadas de los conductos de otras instalaciones por unas distancias mínimas en cm.” resumidas en la tabla 8:

**Tabla 8: Separación entre Instalaciones Según NTE - IFA**

Instalación	Distancia horizontal	Distancia vertical
Alcantarillado	60	50
Gas	50	50
Electricidad – alta	30	30
Electricidad – baja	20	20
Telefonía	30	-

### Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua.

En el apartado 10.2.1, podemos leer “Las conducciones de agua potable se situarán en plano superior a las de saneamiento, con distancias vertical y horizontal entre una y otra no menor a un metro, medido entre los planos tangentes, horizontales y verticales a cada tubería mas próxima entre si. En obras de poca importancia y siempre que se justifique debidamente, podrá reducirse dicho valor de un metro hasta 50 centímetros. Si estas distancias no pudieran mantenerse o fuera preciso cruces con otras canalizaciones, deberán adoptarse precauciones especiales.” [Curiel y Cantó, 2002]

### **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de saneamiento de poblaciones.**

En el apartado 12.3.1 se lee *“Las conducciones de saneamiento se situarán en plano inferior al de abastecimiento con distancia vertical y horizontal entre una y otra no menor a un metro, medido entre planos tangentes, horizontales y verticales a cada tubería más próximos entre si. Si estas distancias no pudieran mantenerse justificadamente o fuera preciso cruces con otras canalizaciones, deberán adoptarse precauciones especiales”*

### **Reglamento de Redes y Acometidas de combustibles gaseosos e Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC).**

En el apartado 5.4. Paralelismos y Cruces, se encuentra la referencia siguiente *“En las canalizaciones que discurren paralelas y en las proximidades de líneas eléctricas de alta tensión, de telégrafo o teléfono, de ferrocarriles, de carreteras o análogas, o que las crucen deberán tomarse las precauciones suplementarias que considere necesarias el órgano competente de la administración.”* [Curiel y Cantó, 2002]

En la ITC-MIG Apartado 5.1, Canalizaciones de Transporte y Distribución de gas en alta presión B, dentro de su apartado “3.3 Profundidad de enterramiento y protecciones”, dice así: *“Cuando la canalización se sitúe enterrada y próxima a otras obras o conducciones subterráneas, deberán disponerse, entre las partes más cercanas de las dos instalaciones, de una distancia como mínimo igual a 0,20 m, en los puntos de cruce y 0,40 m en recorridos paralelos”*.

La ITC-IMG Apartado 5.2, Canalizaciones de Transporte y Distribución de gas en alta presión A, indica las mismas separaciones que en el caso anterior.

La ITC-IMG Apartado 5.3, Canalizaciones de Transporte y Distribución de gas en media presión B, dispone lo siguiente, *“Cuando la canalización se sitúe enterrada y próxima a otras obras o conducciones subterráneas, deberá disponerse, entre las partes más cercanas de las dos instalaciones, de una distancia como mínimo igual a 0,10 m en los puntos de cruce y 0,20 m en recorridos paralelos”*.

La ITC-IMG Apartado 5.4, Canalizaciones de Transporte y Distribución de gas en media presión A. Indica las mismas separaciones que en el caso anterior.

La ITC-IMG Apartado 5.5, Canalizaciones de Gas en baja presión, coincide con las dos anteriores.

## **Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización e Agua Caliente Sanitaria.**

Dentro de la IT IC 16 "Prescripciones generales de las instalaciones" del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, en el apartado 16.3.12 Relación con otros servicios, especifica lo siguiente: *“Las tuberías no estarán en contacto con ninguna conducción de energía eléctrica o de telecomunicación, con el fin de evitar los efectos de corrosión que una derivación pueda ocasionar, debiendo preverse siempre una distancia mínima de 30 cm a las conducciones eléctricas y de 3 cm a las tuberías de gas más cercanas desde el exterior de la tubería o del aislamiento si lo hubiese”*. [Curiel y Cantó, 2002]

## **Reglamento Electrotécnico para baja tensión (RBT).**

El reglamento Electrónico para Baja Tensión es una de las publicaciones donde se trata el tema de los paralelismos y cruzamientos de forma mas amplia.

Se puede leer en la MIE BT 003, los apartados: Se estudia la problemática de los cables aéreos.

“14. Condiciones generales para cruzamientos, proximidades y paralelismos”.

“15. Cruzamientos”.

“16. Proximidades y paralelismos”.

Para los cables enterrados, se dispone en la MIE BT 006 de los puntos:

“7. Cruzamientos”.

“8. Proximidades y paralelismos”.

Las especificaciones de estos dos últimos apartados figuran en la Tabla 9.

**Tabla 9: Separación entre instalaciones según RBT**

<b>Proximidades de conductores de baja tensión con:</b>	<b>Distancias (cm)</b>
Conductores de Alta Tensión	25,00
Cables de telecomunicación	20,00
Canalizaciones de gas y agua	20,00



## **Reglamento sobre condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, subestaciones y centros de Transformación.**

En su apartado “2.3 Conducciones y almacenamiento de fluidos combustibles” del MIE RAT 14, trata las instalaciones eléctricas de interior, hace referencia específica a las galerías de servicio: *“Las conducciones de fluidos combustibles, cuyas posibles averías puedan originar escapes de fluido que, por características, puedan dar lugar a la formación de atmosferas con riesgo de incendio o explosión, cumplirán los Reglamentos específicos que les sean de aplicación, deberán estar alejadas de las canalizaciones eléctricas de alta tensión, prohibiéndose terminantemente la colocación de ambas en la misma atarjea o galería de servicio”*. Es práctica habitual dejar las conducciones de gas en el exterior de las galerías de servicio para compartir espacio con las líneas de alta tensión.

Los apartados 2.4 y 2.5 son también de aplicación a las galerías de servicio, y nos indican las posiciones relativas de las canalizaciones del resto de instalaciones urbanas en el interior. En el apartado “2.4 Conducciones y almacenamiento de agua” dice lo siguiente: *“Las conducciones y depósitos de almacenamiento de agua se instalarán suficientemente alejados de los elementos en tensión y de tal forma que su rotura no pueda provocar averías en las instalaciones eléctricas. A estos efectos, se recomienda disponer las conducciones principales de agua en un plano inferior a las canalizaciones de energía eléctrica”*. [Curiel y Cantó, 2002]

En el apartado 2.5 Alcantarillado, se cita; *“La red general de alcantarillado, si existe, deberá estar situada en un plano inferior al de las instalaciones eléctricas subterráneas, pero si por causas especiales fuera necesario disponer en un plano inferior alguna parte de la instalación eléctrica, adoptarán las disposiciones adecuadas para proteger a ésta de las consecuencias de cualquier posible filtración”*.

### **Norma MV Alumbrado Urbano**

Las Normas MV de Alumbrado Urbano, en su artículo 4.3.6.1 Conducciones Subterráneas, especifica lo siguiente: *“En los cruces con canalizaciones eléctricas o de otra naturaleza (agua, gas...) y de calzadas con vías de tránsito rodado, los cables se dispondrán siempre bajo tubos, que se rodearán con una capa de hormigón en masa con un espesor mínimo de 7 cm”*. Para las conducciones constituidas por cables grapados sobre las paredes, en el punto 4.6.3.2 se indica que: *“En los cruces con otras canalizaciones, eléctricas o no, se dejará una distancia de al menos 3 cm entre los cables y esas canalizaciones o se dispondrán un aislamiento supletorio”*.

## UNE 20435-2 Guía para Elección de Cables de Alta Tensión.

La UNE 20435-2, hace referencia a la instalación de estos tendidos de conductores de energía eléctrica en galerías. Así en el apartado 3.1.2.1.2 Cables instalados al aire en canales o galerías, advierte lo siguiente *“El calor disipado por los cables no puede difundirse libremente y provoca un aumento de la temperatura del aire”*. Aparecen así en los puntos posteriores recomendaciones sobre distancias a mantener entre los cables eléctricos tendidos sobre bandejas. En el punto 3.1.2.2 Instalación enterrada, aborda el mismo problema, pero en canalizaciones enterradas. [Curiel y Cantó, 2002]

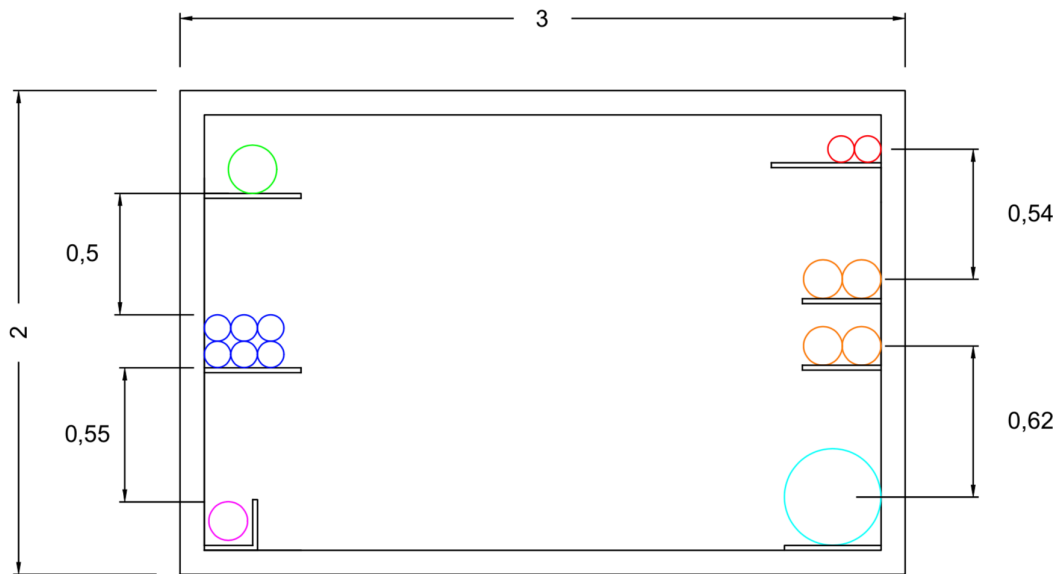
### 2.2.2 Propuesta de Galería

Como propuesta de galería a utilizar en el presente TFG, se sugiere la utilización de un marco prefabricado de hormigón con medidas 3m x 2m. Los marcos prefabricados de hormigón son elementos de hormigón armado y sección rectangular con sistemas de unión de junta machihembrada que debido a su versatilidad, su aplicación se ha extendido a pasos inferiores, drenajes transversales, grandes conducciones, encauzamientos, desagües, saneamientos, canalizaciones de ríos y por supuesto galerías de servicios visitables.

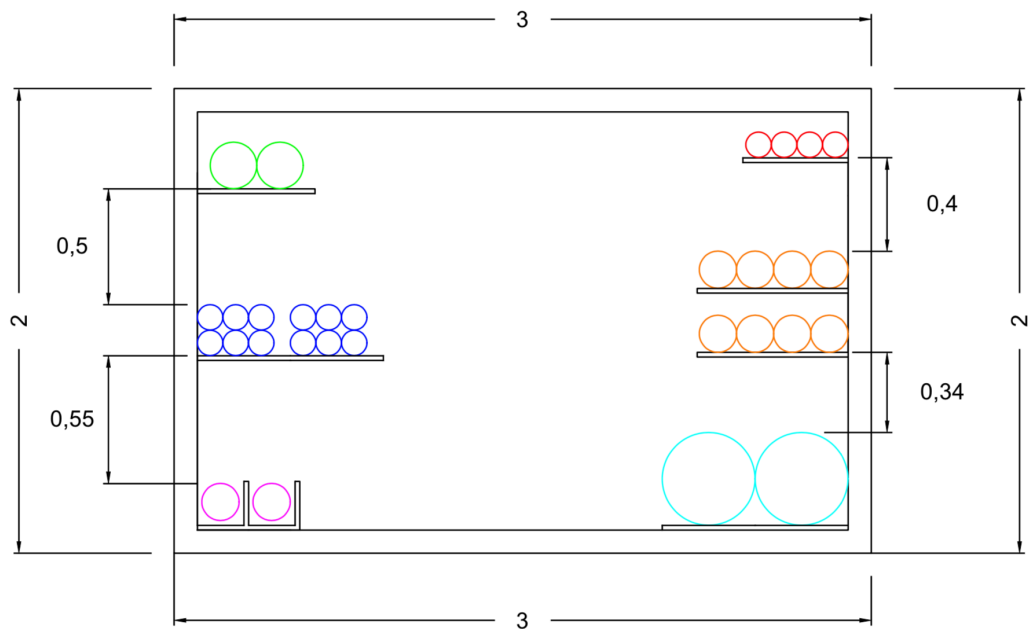


**Figura 8: Marco prefabricado de hormigón.**

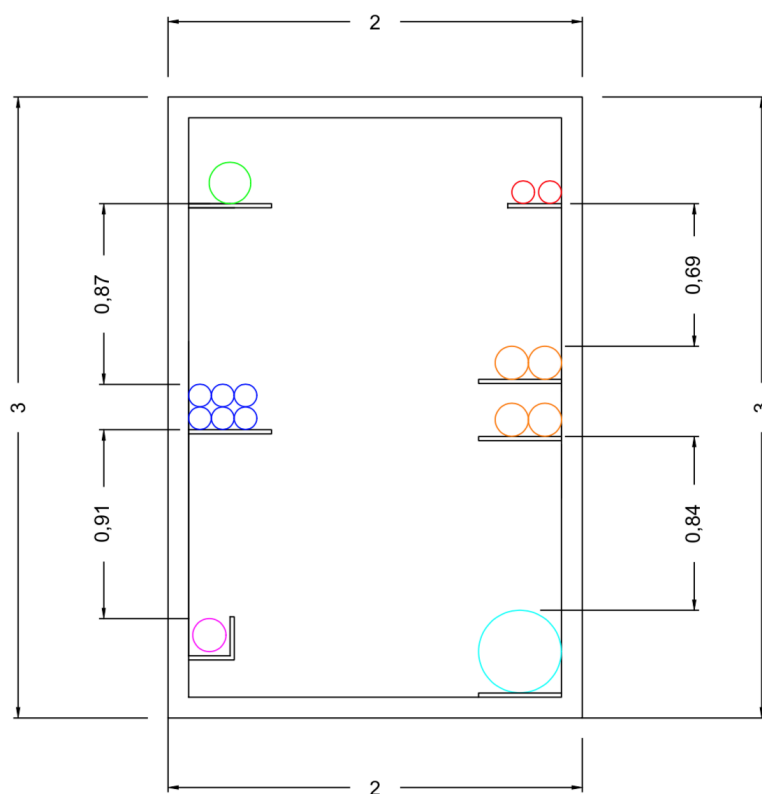
Debido a sus medidas, la galería se puede colocar tanto de forma horizontal como vertical y con el fin de cumplir con la normativa anterior, se presentan las siguientes alternativas para la galería:



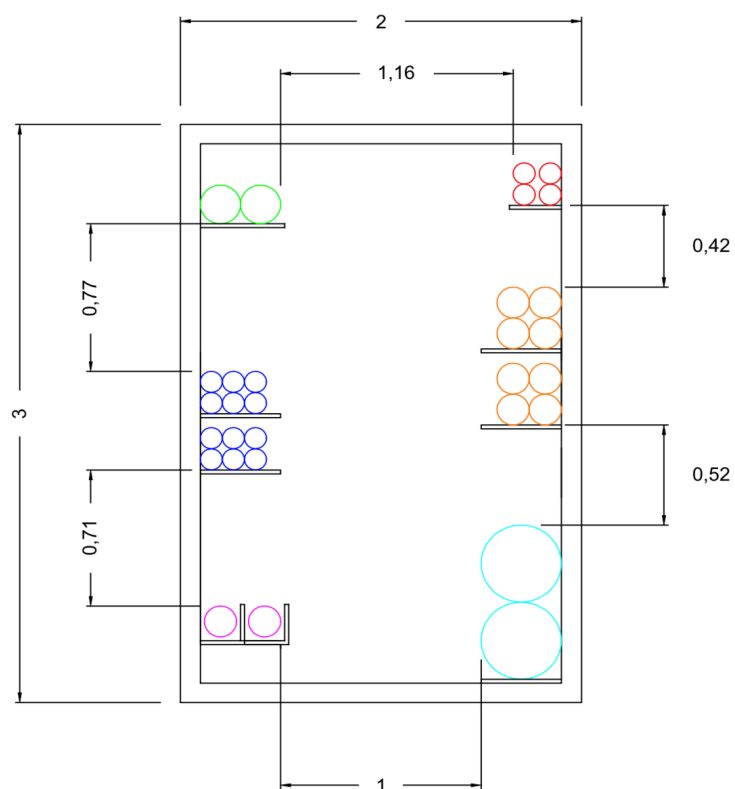
**Figura 9: Galería horizontal para calles de sentido único y doble sentido**



**Figura 10: : Galería horizontal para Avenidas**



**Figura 11: Galería vertical para calles de sentido único y doble sentido**



**Figura 12: Galería vertical para Avenidas**

Donde:

- |   |   |
|---|---|
|  Abastecimiento    |  Telefonía             |
|  Alumbrado Público |  Gas                   |
|  Electricidad      |  Drenaje y Saneamiento |

En las figuras 9 y 11 se recogen las galerías de servicios para calles de sentido único y doble sentido, vemos como en estas, la cantidad de tubos que se disponen es menor que en las galerías de las figuras 10 y 12 que corresponde a las avenidas, ya que la demanda es mayor por lo tanto hay que disponer de un mayor número.

Una vez se ha analizado la colocación de los diferentes servicios, se procede a analizar los requerimientos ergonómicos.

Estos requerimientos se basan en las dos causas fundamentales de enfermedades musculares: posturas inadecuadas, y las fuerzas mecánicas excesivas ejercidas por un operario al realizar cualquier tarea, como alzar una carga o usar una herramienta de mano.

Se proponen las siguientes reglas de diseño con el fin de que se tenga el suficiente espacio vertical y horizontal para que el operario pueda acceder y abandonar la galería sin dificultad.

- Suficiente espacio para que el operario pueda realizar cualquier trabajo previsible en el interior de la galería. Hay que tener en cuenta el volumen de herramientas que debe transportar y los diferentes tipos de conductos y auxiliares que emplean los servicios urbanos.
- Espacio necesario entre conductos o bandejas debe ser lo suficientemente amplio como para permitir su manipulación por parte del operario y la manipulación de herramientas, con sus correspondientes movimientos de trabajo.
- Evitar el uso de bandejas o caballetes con excesiva profundidad. Son de difícil acceso y llegaría a sobrecargar la misma

Es debido a esto, que se llega a la conclusión de que la mejor opción para la colocación de la galería es en posición horizontal, ya que para calles de sentido único y doble sentido permite un paso libre de 2m. mientras que en una galería vertical este espacio se reduce a 1m. (Figuras 9 y 11)

En cuanto a la galería para las avenidas (Figuras 10 y 12), en el caso horizontal, permite un paso libre de 1,32m. mientras que en la vertical se mantiene el paso de 1m. como en las de sentido único y doble sentido.

Además, la galería horizontal permite una mejor accesibilidad a los servicios superiores.



### Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

### Plano

Galerías

### Escala

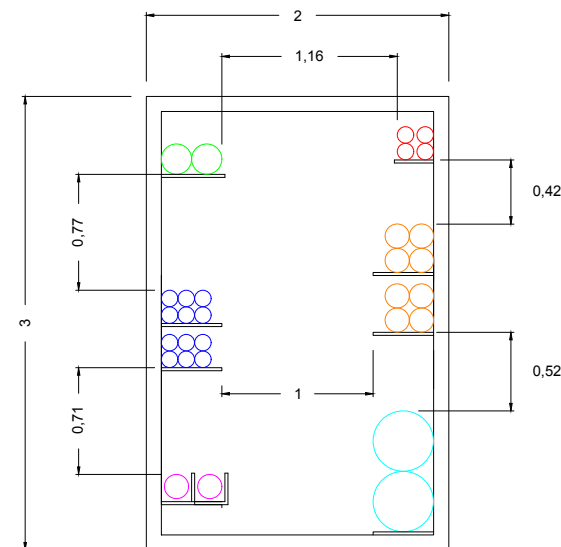
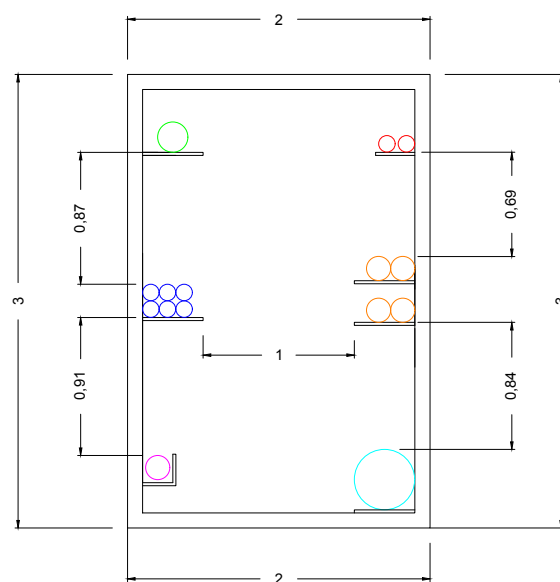
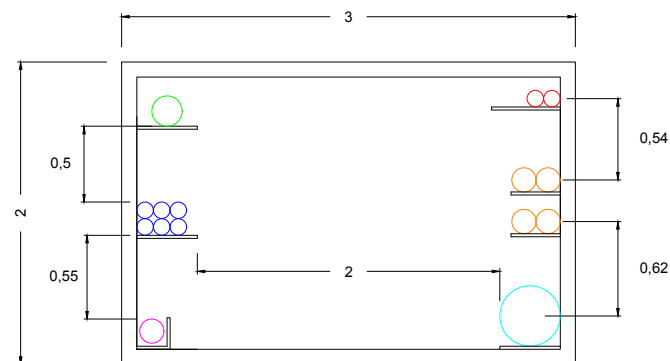
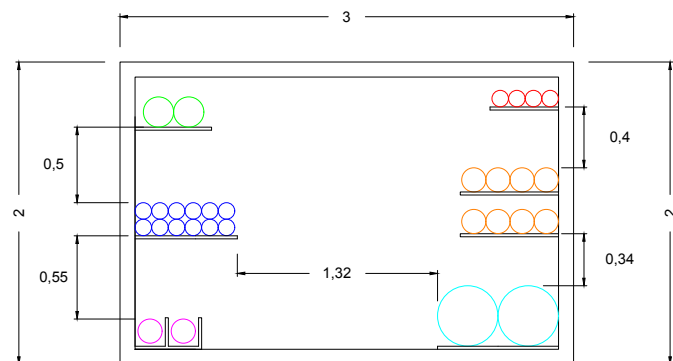
1:20

### Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

### Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos



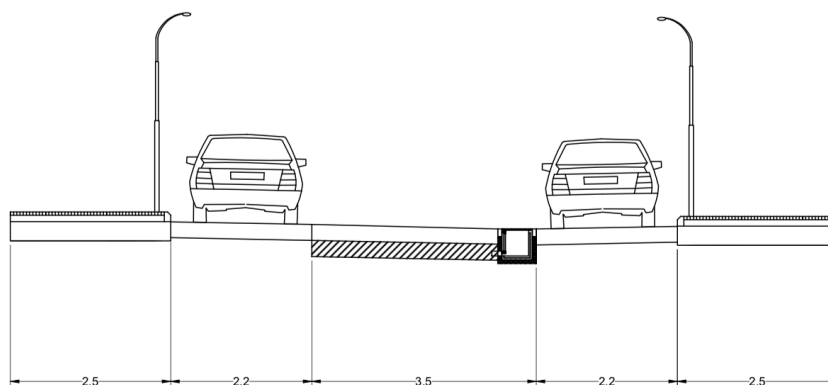
- Abastecimiento
- Telefonía
- Alumbrado Público
- Gas
- Electricidad
- Drenaje y Saneamiento

### 3 CASOS DE ESTUDIO

A continuación, y con el fin de realizar un estudio general y lo más completo posible, en este apartado se estudiarán 3 diferentes tipos de calles.

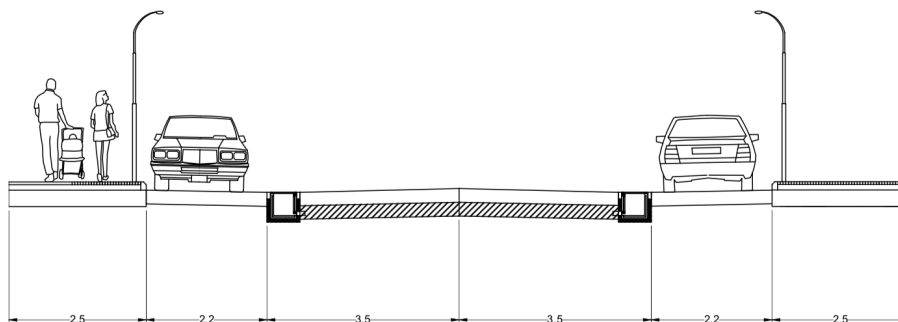
Los tres tipos de secciones propuestos en el estudio son:

- Sentido único (1 Carril) compuesto por:
  - Acera (2,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Carril (3,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Acera (2,5m)



**Figura 13: Sección calle Sentido Único**

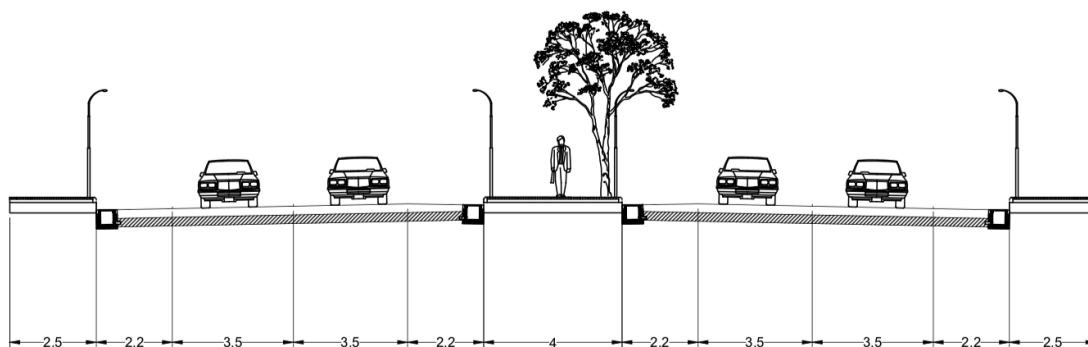
- Doble sentido (1 Carril por sentido) cuya distribución es:
  - Acera (2,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Carril (3,5m)
  - Carril (3,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Acera (2,5m)



**Figura 14: Sección Avenida**



- Avenida (2 Carriles por sentido con mediana):
  - Acera (2,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Carril (3,5m)
  - Carril (3,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Mediana (4m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Carril (3,5m)
  - Carril (3,5m)
  - Aparcamiento (2,2m)
  - Acera (2,5m)



**Figura 14: Sección Avenida**

A continuación, en las siguientes páginas se adjuntan los planos detallados de cada una de estas secciones propuestas.

## Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

## Plano

Sentido Único  
(Zanjas)

## Escala

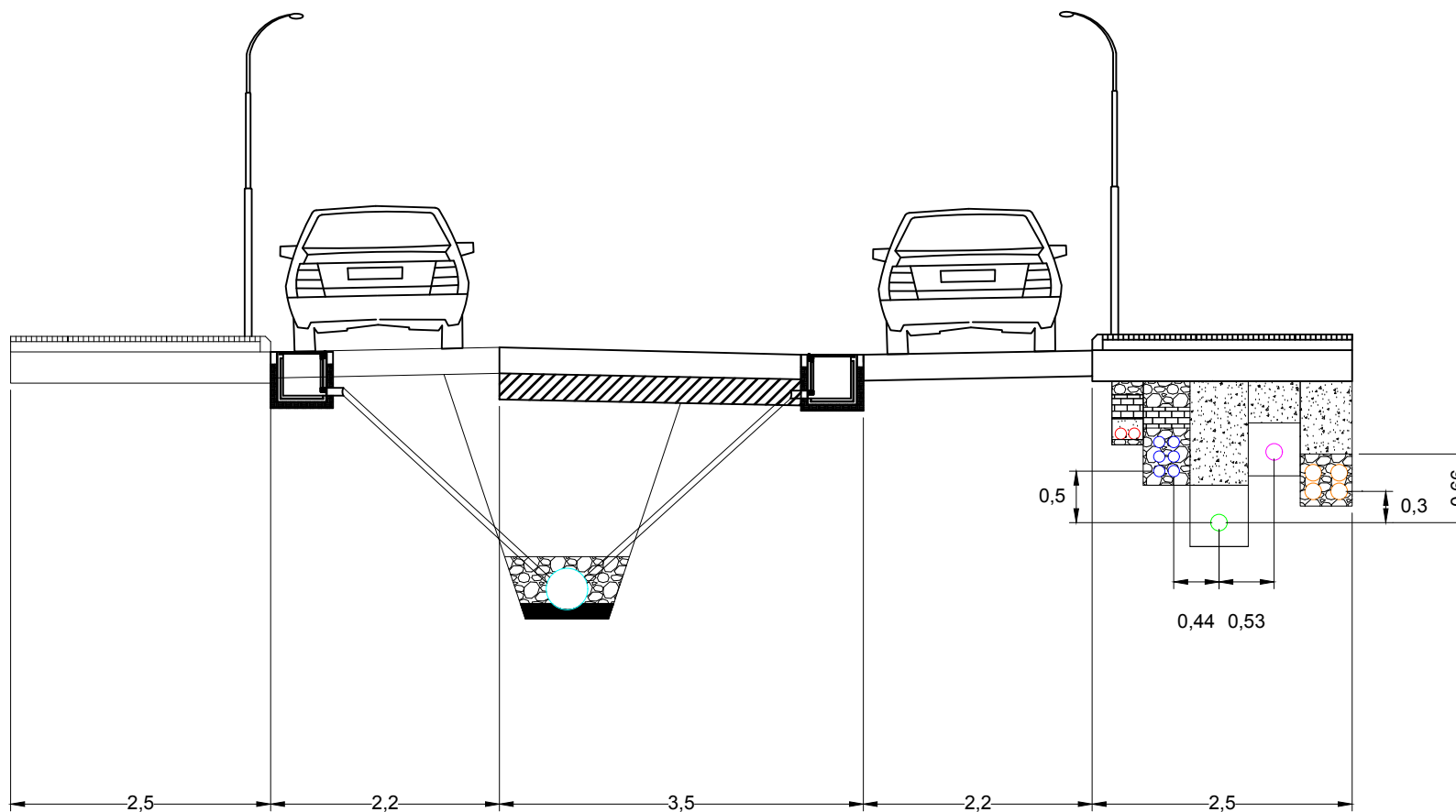
1:15

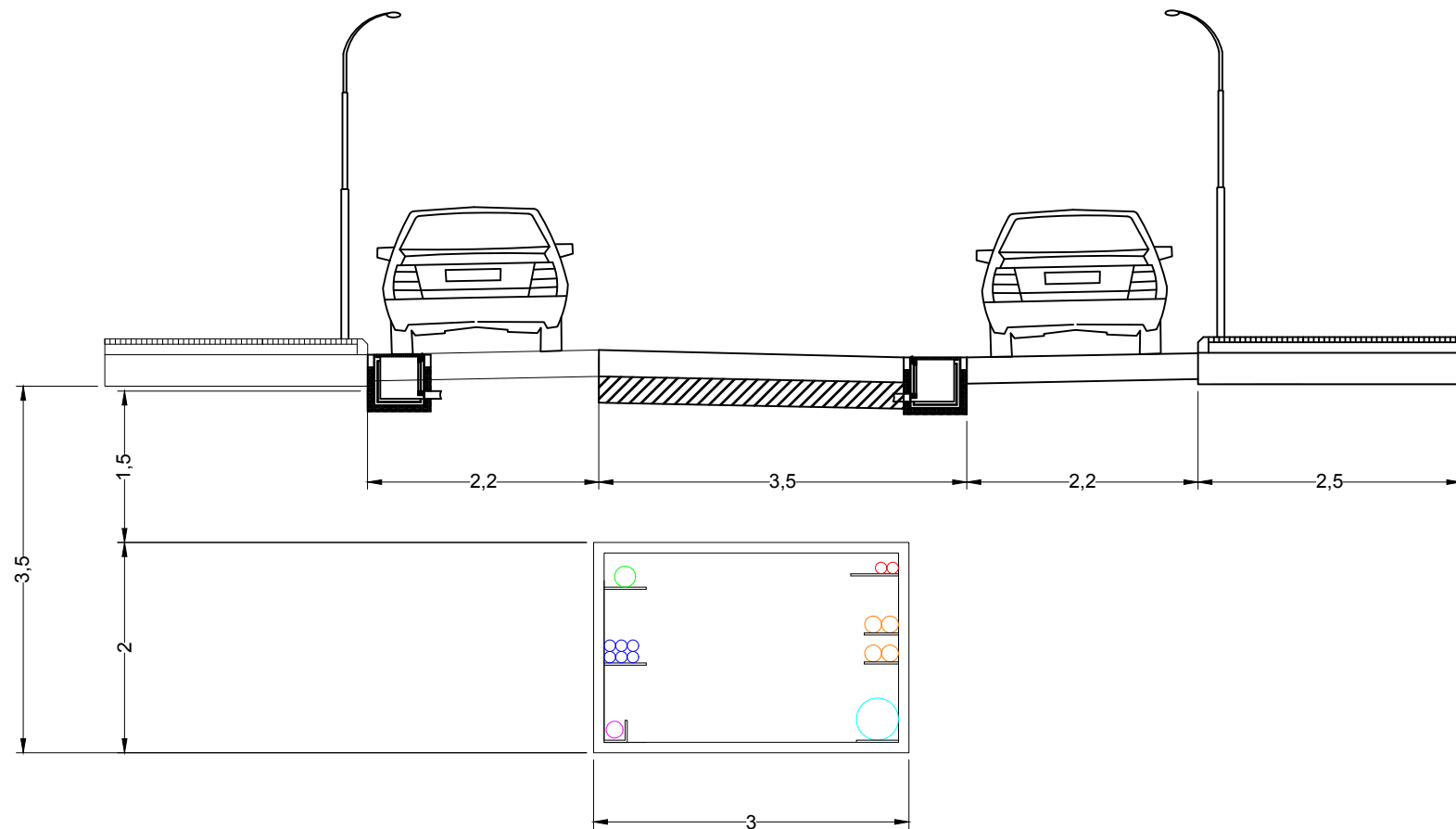
## Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

## Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos





# UC

UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA

Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

Plano

Sentido Único  
(Galería)

Escala

1:15

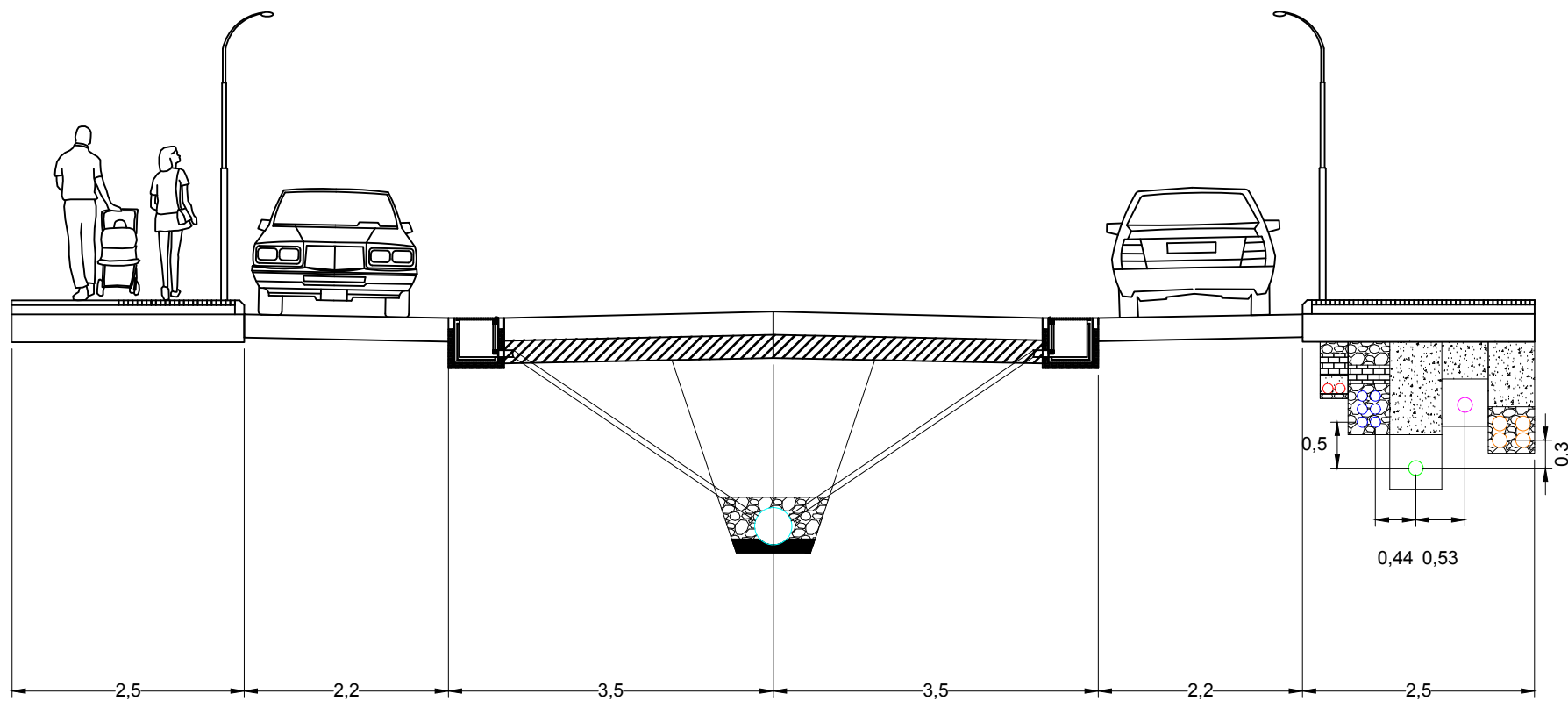
Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

Trabajo Fin de Grado

Escuela Tecnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos





# UC

UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA

Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

Plano

Sentido Único  
(Zanjas)

Escala

1:14

Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos



### Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

### Plano

Doble Sentido  
(Galería)

### Escala

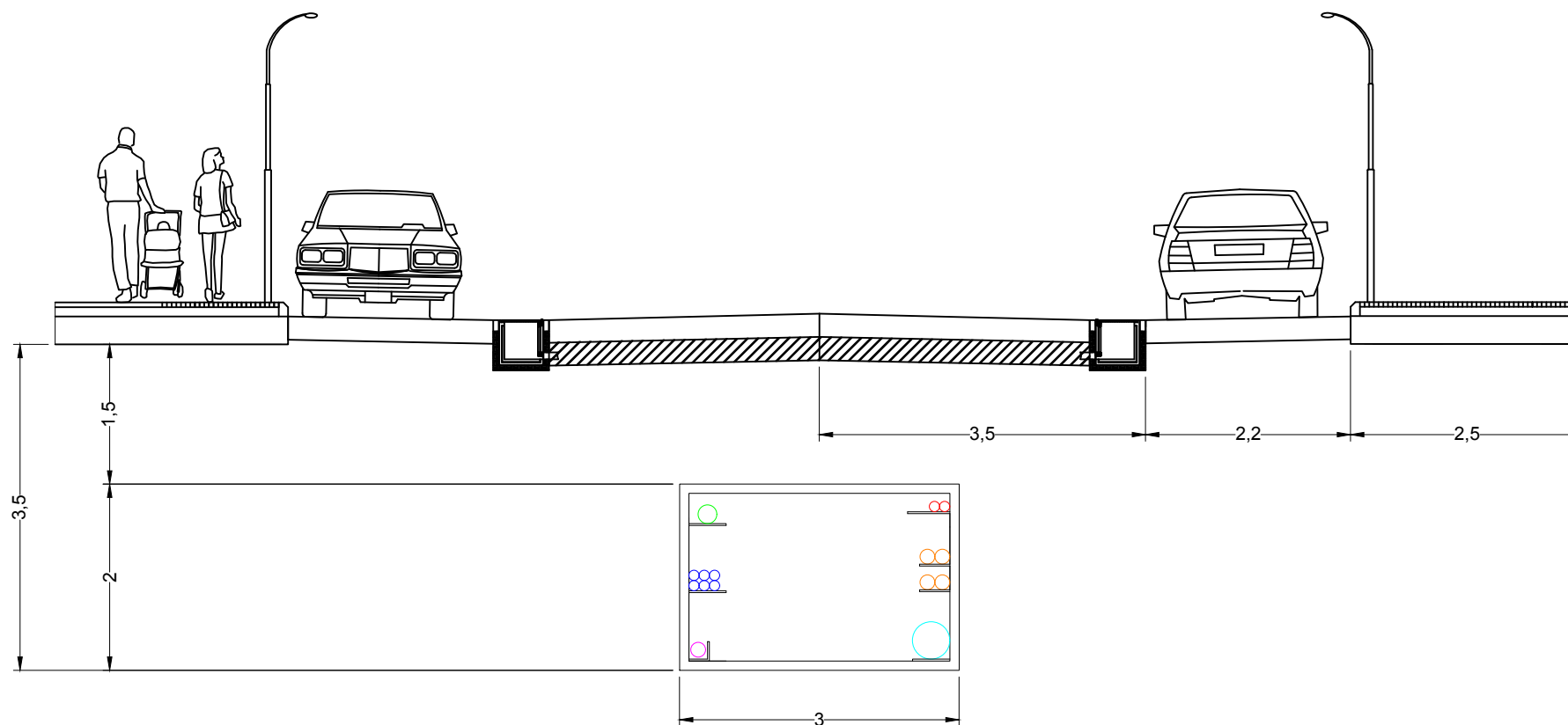
1:14

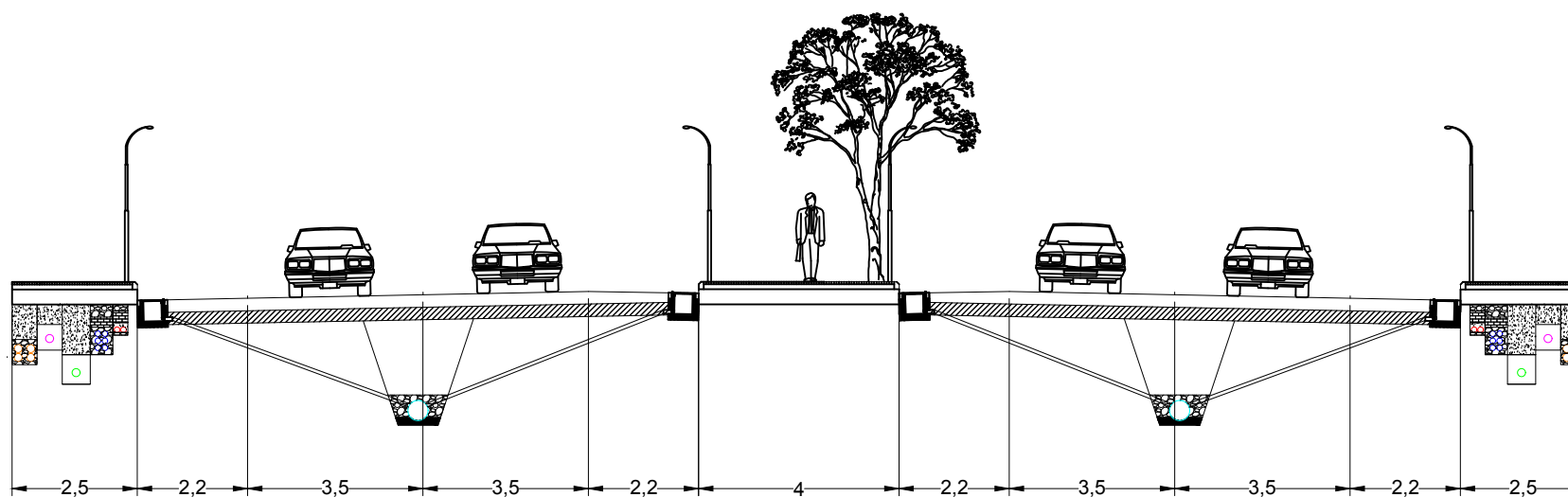
### Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

### Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos





# UC

UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA

Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

Plano

Avenidas  
(Zanjas)

Escala

1:7

Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos



# UC

UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA

Proyecto

Estudio comparativo de viabilidad económica de diferentes enfoques en la distribución de servicios urbanos.

Plano

Avenidas  
(Galería)

Escala

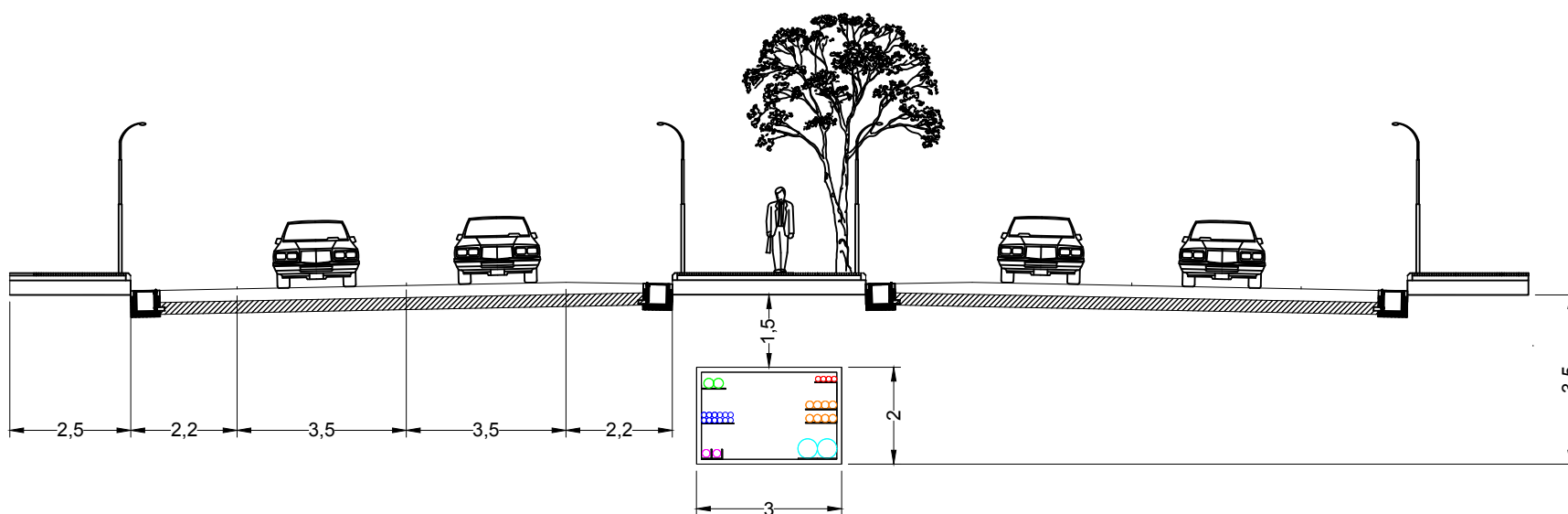
1:7

Alumno

Blanca Ruiz del Olmo de Simón

Trabajo Fin de Grado

Escuela Técnica Superior  
de Caminos Canales y  
Puertos



## 4 COSTES DE CONSTRUCCIÓN.

A continuación, se va a proceder a realizar una estimación de los costes de construcción asociados a cada una de las secciones definidas anteriormente. Se va a suponer que la construcción se realiza desde cero, es decir, que no hay calle alguna construida, sino que es necesario realizar la infraestructura completa. Además, todos los costes que se van a estimar van a ser por unidad de longitud de sección.

Los pasos a seguir son:

- Excavación de desmonte.
- Excavación de las distintas zanjas.
- Colocación del apoyo
- Colocación tubería
- Relleno de la zanja
- Colocación de la capa de rodadura
- Construcción del pavimento mediante Micro aglomerado en frío
- Construcción de la acera mediante baldosa pétrea.

Los apoyos en los que se situarán las tuberías podrán ser de Hormigón o Arena. En cuanto a los rellenos, dependerá de las zanjas. Se rellenan de Hormigón, Zahorra y/o rechazo de cantera.

En el caso de las Galerías no es necesaria la creación de zanjas. En este caso se necesita un mayor volumen excavación de desmonte con el fin de encajar la galería.

Los pasos a seguir son:

- Excavación de desmonte.
- Colocación del apoyo de 20cm. de espesor sobre el cual se colocará la galería
- Introducir el marco de la galería
- Relleno mediante suelo seleccionado
- Colocación de la capa de rodadura
- Construcción del pavimento mediante Micro aglomerado en frío
- Construcción de la acera mediante baldosa pétrea.

El coste de las tuberías es el mismo en ambos casos ya que no cambia el tipo de tubería. Lo mismo ocurre con la capa de rodadura, el pavimento y la acera. Será el mismo coste para el caso de la zanja como la galería.

**Tabla 10: Comparación de los costes de construcción**

CALLE	Servicios Aislados (€/ml)	Galería (€/ml)
<b>Sentido Único</b>	586,20	1.689,31
<b>Doble Sentido</b>	628,54	1.736,11
<b>Avenida</b>	1.166,37	2.229,41



Una primera conclusión que se puede extraer de los datos obtenidos en la Tabla 10, es que tanto en las calles de sentido único como en las de doble sentido, el coste de la galería es prácticamente el triple que la construcción de los servicios aislados, mientras que en el caso de las Avenidas pasa a ser el doble.

En los siguientes apartados se puede encontrar el detalle de los costes estimados para cada sección. Se puede observar como la principal unidad de obra es la correspondiente a la capa superficial de la sección, que incluye rodadura, pavimento, y la cobertura de la acera.

Dentro de los costes propios de los servicios, se puede observar también que el sistema eléctrico y el de telecomunicaciones son los más caros, mientras que el de alumbrado público figura como el mas barato. El resto de los servicios (abastecimiento, saneamiento, drenaje y gas) se incluyen en precios intermedios.

En el caso de calles de sentido único y doble sentido se ha colocado el mismo número de servicios, con las mismas tuberías, por tanto, las zanjas son exactamente iguales en ambos casos. Es por esto, que no hay una gran diferencia de precio entre una y otra. Esta diferencia es debido a la mayor cantidad de excavación del desmonte que exige la incorporación de un nuevo carril, al igual que la mayor cantidad de capa de rodadura. Donde de verdad se ve una gran diferencia de precio es en las avenidas.

Las avenidas son grandes calles, suelen ser las calles principales en grandes ciudades, y por tanto son las que soportan mayor circulación de vehículos. Son propicias también para el comercio, con lo que tiene que abastecer a mayor cantidad de edificios. Es debido a esto que se le va a proporcionar de la doble cantidad de servicios que a las calles de sentido único y doble sentido. Por tanto, la diferencia de precio aquí si se va a ver aumentada casi el doble que en los dos casos anteriores.

En la galería esta diferencia no va a ser tan grande, ya que el marco prefabricado va a ser el mismo en los tres casos.

## 4.1 SENTIDO ÚNICO

### 4.1.1 Zanja

<b>Servicios Aislados</b>					
Carretera 1 Sentidos (12,5m)					
		Precio Unidad	Cantidad	Total	
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	34	61,20 €	61,20 €
Excavacion zanja de todo tipo de terreno	m3	9,00 €	5,6015	50,41 €	50,41 €
<b>Drenaje y Saneamiento</b>					
Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	1	20,40 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,1275	9,55 €	39,73 €
Relleno ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
Suelo seleccionado	m3	1,80 €	2,55	4,59 €	
<b>Abastecimiento</b>					
Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	1	21,00 €	
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,045	0,68 €	26,88 €
Relleno de ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
<b>Electricidad</b>					
Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	1	24,60 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,475	35,56 €	63,13 €
ZA-25	m3	11,00 €	0,26	2,86 €	
Cinta señalizadora	ml	0,50 €	0,215	0,11 €	
<b>Alumbrado Público</b>					
Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	1	12,70 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,015	1,12 €	
Relleno	m3	11,00 €	0,06	0,66 €	18,36 €
Cinta Señalizadora	ml	0,50 €	1	0,50 €	
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,069	0,46 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,039	2,92 €	
<b>Telefónica</b>					
Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	1	44,00 €	
Apoyo HM-25	m3	74,87 €	0,2475	18,53 €	71,55 €
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,09	0,59 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,1125	8,42 €	
<b>Gas</b>					
Tuberia Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	1	20,00 €	25,94 €
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,39	5,94 €	
Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	7,5	54,00 €	
Pavimento Microaglomerado en frio e=3cm	m2	5,00 €	5	25,00 €	229,00 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	5	150,00 €	
<b>TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE SERVICIOS AISLADOS</b>					<b>586,20 €</b>

#### 4.1.2 Galería

<b>Galería</b>
----------------

Carretera 1 Sentidos (12,5m)

		Precio Unidac	Cantidad	Total	
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	23	41,40 €	
Relleno C/Suelo Seleccionado	m3	1,80 €	17	30,60 €	
Marco prefabricado 3x2m.	ml	1.215,66 €	1	1.215,66 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,4	29,95 €	* 20cm de espesor por debajo del marco de la galería (0,2*2m)

##### **Drenaje y Saneamiento**

Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	1	20,40 €
---	----	---------	---	---------

##### **Abastecimiento**

Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	1	21,00 €
---	----	---------	---	---------

##### **Electricidad**

Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	1	24,60 €
--------------------------	----	---------	---	---------

##### **Alumbrado Público**

Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	1	12,70 €
--------------------------------	----	---------	---	---------

##### **Telefónica**

Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	1	44,00 €
----------------------------	----	---------	---	---------

##### **Gas**

Tubería Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	1	20,00 €
-------------------------------	----	---------	---	---------

Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	7,5	54,00 €	
Pavimento Microaglomerado en frío e=3cm	m2	5,00 €	5	25,00 €	229,00 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	5	150,00 €	

**TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE LA GALERIA** **1.689,31 €**

## 4.2 DOBLE SENTIDO

### 4.2.1 Zanja

<b>Servicios Aislados</b>					
Carretera 2 Sentidos (16m)					
		Precio Unidad	Cantidad	Total	
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	43,52	78,34 €	78,34 €
Excavacion zanja de todo tipo de terreno	m3	9,00 €	5,6015	50,41 €	50,41 €
<b>Drenaje y Saneamiento</b>					
Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	1	20,40 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,1275	9,55 €	39,73 €
Relleno ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
Suelo seleccionado	m3	1,80 €	2,55	4,59 €	
<b>Abastecimiento</b>					
Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	1	21,00 €	
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,045	0,68 €	26,88 €
Relleno de ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
<b>Electricidad</b>					
Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	1	24,60 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,475	35,56 €	63,13 €
ZA-25	m3	11,00 €	0,26	2,86 €	
Cinta señalizadora	ml	0,50 €	0,215	0,11 €	
<b>Alumbrado Público</b>					
Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	1	12,70 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,015	1,12 €	
Relleno	m3	11,00 €	0,06	0,66 €	18,36 €
Cinta Señalizadora	ml	0,50 €	1	0,50 €	
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,069	0,46 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,039	2,92 €	
<b>Telefónica</b>					
Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	1	44,00 €	
Apoyo HM-25	m3	74,87 €	0,2475	18,53 €	71,55 €
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,09	0,59 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,1125	8,42 €	
<b>Gas</b>					
Tuberia Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	1	20,00 €	25,94 €
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,39	5,94 €	
Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	11	79,20 €	
Pavimento Microaglomerado en frio e=3cm	m2	5,00 €	5	25,00 €	254,20 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	5	150,00 €	
<b>TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE SERVICIOS AISLADOS</b>					<b>628,54 €</b>

#### 4.2.2 Galería

<b>Galeria</b>				
Carretera 2 Sentidos (16m)				
		Precio Unidad	Cantidad	Total
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	29	52,20 €
Relleno C/Suelo Seleccionado	m3	1,80 €	23	41,40 €
Marco prefabricado 3x2m.	ml	1.215,66 €	1	1.215,66 €
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,4	29,95 €
<b>Drenaje y Saneamiento</b>				
Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	1	20,40 €
<b>Abastecimiento</b>				
Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	1	21,00 €
<b>Electricidad</b>				
Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	1	24,60 €
<b>Alumbrado Público</b>				
Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	1	12,70 €
<b>Telefónica</b>				
Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	1	44,00 €
<b>Gas</b>				
Tuberia Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	1	20,00 €
Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	11	79,20 €
Pavimento Microaglomerado en frio e=3cm	m2	5,00 €	5	25,00 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	5	150,00 €
<b>TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE LA GALERIA</b>				<b>1.736,11 €</b>

254,20 €

## 4.3 AVENIDA

### 4.3.1 Zanja

Servicios Aislados					
Avenida (31m)					
		Precio Unidad	Cantidad	Total	
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	84,32	151,78 €	151,78 €
Excavacion zanja de todo tipo de terreno	m3	9,00 €	5,6015	50,41 €	50,41 €
<b>Drenaje y Saneamiento</b>					
Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	1	20,40 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,1275	9,55 €	79,48 €
Relleno ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
Suelo seleccionado	m3	1,80 €	2,55	4,59 €	
<b>Abastecimiento</b>					
Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	1	21,00 €	
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,045	0,68 €	53,76 €
Relleno de ZA-25	m3	11,00 €	0,4725	5,20 €	
<b>Electricidad</b>					
Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	1	24,60 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,475	35,56 €	126,26 €
ZA-25	m3	11,00 €	0,26	2,86 €	
Cinta señalizadora	ml	0,50 €	0,215	0,11 €	
<b>Alumbrado Público</b>					
Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	1	12,70 €	
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,015	1,12 €	
Relleno	m3	11,00 €	0,06	0,66 €	36,72 €
Cinta Señalizadora	ml	0,50 €	1	0,50 €	
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,069	0,46 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,039	2,92 €	
<b>Telefónica</b>					
Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	1	44,00 €	
Apoyo HM-25	m3	74,87 €	0,2475	18,53 €	143,08 €
Rechazo de Cantera	m3	6,60 €	0,09	0,59 €	
HM-25	m3	74,87 €	0,1125	8,42 €	
<b>Gas</b>					
Tuberia Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	1	20,00 €	
Apoyo de Arena	m3	15,22 €	0,39	5,94 €	51,88 €
Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	22	158,40 €	
Pavimento Microaglomerado en frio e=3cm	m2	5,00 €	9	45,00 €	473,40 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	9	270,00 €	
<b>TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE SERVICIOS AISLADOS</b>					<b>1.166,77 €</b>

#### 4.3.2 Galería

<b>Galería</b>				
Avenida (31m)				
		Precio Unidad	Cantidad	Total
Excavacion desmonte de todo tipo de terreno	m3	1,80 €	65,5	117,90 €
Relleno C/Suelo Seleccionado	m3	1,80 €	59,5	107,10 €
Marco prefabricado 3x2m.	ml	1.215,66 €	1	1.215,66 €
Apoyo de HM-25	m3	74,87 €	0,4	29,95 €
<b>Drenaje y Saneamiento</b>				
Tubo dren PVC Corr.doble Circ SN4 250mm	ml	20,40 €	2	40,80 €
<b>Abastecimiento</b>				
Conducto Polietileno PE50 PN10 DN 160mm	ml	21,00 €	2	42,00 €
<b>Electricidad</b>				
Conductor MT/BT RHZ1-240	ml	24,60 €	2	49,20 €
<b>Alumbrado Público</b>				
Conductores de cobre 4(1x6)mm2	ml	12,70 €	2	25,40 €
<b>Telefónica</b>				
Canal telefónico 6 PVC 110	ml	44,00 €	2	88,00 €
<b>Gas</b>				
Tuberia Gas PE D=160mm SDR 11	ml	20,00 €	2	40,00 €
Capa de rodadura AC16surf60/70D e=5cm	m2	7,20 €	22	158,40 €
Pavimento Microaglomerado en frio e=3cm	m2	5,00 €	9	45,00 €
Acera de Baldosa Petrea 3/4 cm	m2	30,00 €	9	270,00 €
<b>TOTAL DE LA CONSTRUCCION DE UN METRO LINEAL DE LA GALERIA</b>				<b>2.229,41 €</b>

473,40 €

## 5 ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL

Hoy en día, a la hora de diseñar una red urbana, al igual que sucede con innumerables bienes de consumo, es necesario realizar el diseño con la firme intención de que sea lo mas resistente posible. Aunque existen muchos productos en los que la obsolescencia programada es una realidad, en nuestra labor como ingenieros civiles debemos pensar en el bien social y en la adecuada utilización de los recursos públicos haciendo obras con la mayor vida útil posible.

Sin embargo, existen varias situaciones en las que es necesario proceder a revisar o sustituir las redes de abastecimiento urbanas, lo que, en el caso de una red construida en zanjas bajo el pavimento, implica el levantamiento de las aceras y calzadas.

Hay 4 razones principales por las que se deben reabrir las zanjas:

1. No podemos contar con instalaciones de servicios eternas.
2. La Administración Municipal tiene la responsabilidad de una instalación adecuada, pero sin un control adecuado, no se podrá garantizar la bondad de un servicio y, por tanto, su garantía en el tiempo.
3. Una tercera razón muy importante es la de encontrarse enterrados todos estos servicios, lo que provoca que estén sometidos a acciones que afectan a los materiales y a las instalaciones. Las condiciones meteorológicas, las cargas exteriores a las que se ven sometidas, el peso del terreno o las sobrecargas del uso del suelo.
4. Como ultima razón, cabe reseñar que cualquier tipo de instalación, conductos y cables, precisa de un grado de mantenimiento.

Es por esto se va a suponer que cada servicio se debe revisar ya sea por avería o por mantenimiento cada un número determinado de años. Para ello se ha creado un escenario de sucesos en el cual se supone que:

- La red de **telefonía** se debe revisar o sustituir cada **5 años**.
- La red de **gas** cada **10 años**.
- Red de **Abastecimiento** cada **15 años**.
- Red de **drenaje y saneamiento** cada **15 años**.
- **Electricidad** cada **20 años**.
- Red de **Alumbrado Público** cada **30 años**.

Para poder entender esto mejor, se va a realizar una tabla con los años en los que se debe reabrir alguna zanja para revisar o arreglar algún servicio. Los costes en los que se incurre en cada uno de estos años incluyen los siguientes:

- Excavación de la zanja
- Creación de la zanja con los distintos materiales de relleno
- Reconstrucción del pavimento

A estos tres costes, se va a restar el precio de la tubería, ya que es el mismo en la galería, y obviamente, estos costes aparecen solo en el caso de las secciones con zanjas, ya que en las galerías no es necesario proceder a la excavación, levantamiento y reconstrucción.



Por ejemplo: En el caso de sentido único; En el año 5 solo se cambia el servicio de telefonía. Como se ha calculado anterior mente en el apartado 4.1.1. la zanja para ese servicio tiene un coste de 71,55€/ml a esto hay que sumarle la excavación que supone esa zanja que en este caso son 6,30€/ml y la reconstrucción del pavimento que supone un coste de 15,75€/ml lo que hace una suma de 93,6€/ml, pero como en la galería también se debe cambiar la tubería, se va a restar el coste del tubo para saber cual es el coste extra en el caso de las zanjas. Por tanto, en el año 5, se genera un coste extra de 49,60€/ml.

Esto mismo se realiza para el año 10 con el servicio de telefonía más gas. El cambio del servicio de telefonía, como hemos calculado en el párrafo anterior, supone un coste extra de 49,60€/ml, a este coste, se le debe añadir en coste que supone el cambio de la tubería del Gas, creando un coste total en el año 10 de 77,99€/ml.

Lo mismo se realiza para el año 15, 20 ... 30. Se suman todos los costes extras al coste de construcción inicial y deja un total de 1.267,48€/ml en el caso de la calle de sentido único. 1.309,82€/ml en el caso de la calle de doble sentido y finalmente 2.529,25€/ml en el caso de la Avenida.

Todos estos números están basados en numerosa bibliografía y criterio experto.

### ESCENARIO DE SUCESOS

										Años
										Drenaje y Saneamiento
										15
										Abastecimiento
										15
										Electricidad
										20
										Alumbrado Público
										30
										Telefonia
										5
										Gas
										10
¿Cuanto me cuesta?										
1 Sentido	Telefonia	Gas	Abastecimiento	Drenaje y Saneamiento	Alumbrado Público	Electricidad	Excavación	Reconstruccion Pavimento/Firme	Tubo	TOTAL
Construccion inicial										586,20 €
Año 5	71,55 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	6,30 €	15,75 €	44,00 €	49,60 €
Año 10	71,55 €	25,94 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	11,25 €	33,25 €	64,00 €	77,99 €
Año 15	71,55 €	0,00 €	26,88 €	39,73 €	0,00 €	0,00 €	54,00 €	52,83 €	85,40 €	159,59 €
Año 20	71,55 €	25,94 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	63,13 €	16,65 €	49,00 €	88,60 €	137,67 €
Año 25	71,55 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	6,30 €	15,75 €	44,00 €	49,60 €
Año 30	71,55 €	25,94 €	26,88 €	39,73 €	18,36 €	0,00 €	61,65 €	80,83 €	118,10 €	206,84 €
<b>TOTAL</b>										<b>1.267,48 €</b>
2 Sentido	Telefonia	Gas	Abastecimiento	Drenaje y Saneamiento	Alumbrado Público	Electricidad	Excavación	Reconstruccion Pavimento/Firme	Tubo	TOTAL
Construccion inicial										628,54 €
Año 5	71,55 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	6,30 €	15,75 €	44,00 €	49,60 €
Año 10	71,55 €	25,94 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	11,25 €	33,25 €	64,00 €	77,99 €
Año 15	71,55 €	0,00 €	26,88 €	39,73 €	0,00 €	0,00 €	54,00 €	52,83 €	85,40 €	159,59 €
Año 20	71,55 €	25,94 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	63,13 €	16,65 €	49,00 €	88,60 €	137,67 €
Año 25	71,55 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	6,30 €	15,75 €	44,00 €	49,60 €
Año 30	71,55 €	25,94 €	26,88 €	39,73 €	18,36 €	0,00 €	61,65 €	80,83 €	118,10 €	206,84 €
<b>TOTAL</b>										<b>1.309,82 €</b>
Avenida	Telefonia	Gas	Abastecimiento	Drenaje y Saneamiento	Alumbrado Público	Electricidad	Excavación	Reconstruccion Pavimento/Firme	Tubo	TOTAL
Construccion inicial										1.166,77 €
Año 5	143,08 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	12,60 €	31,50 €	88,00 €	99,18 €
Año 10	143,08 €	51,88 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	22,50 €	66,50 €	128,00 €	155,96 €
Año 15	143,08 €	0,00 €	53,76 €	79,48 €	0,00 €	0,00 €	108,00 €	105,65 €	170,80 €	319,17 €
Año 20	143,08 €	51,88 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	126,26 €	33,30 €	98,00 €	177,20 €	275,32 €
Año 25	143,08 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	12,60 €	31,50 €	88,00 €	99,18 €
Año 30	143,08 €	51,88 €	53,76 €	79,48 €	36,72 €	0,00 €	123,30 €	161,65 €	236,20 €	413,67 €
<b>TOTAL</b>										<b>2.529,25 €</b>

Figura 15: Escenario de Sucesos

Por tanto, el coste de construcción de la calle de un sentido, teniendo en cuenta las averías y cambios que se tendrán que realizar en un periodo de 30 años en una calle de servicios aislados, será de 1.267,48€/ml mientras que mediante una galería visitable se mantiene el coste inicial de 1.689,31€/ml

En el caso de la calle de doble sentido, pasados 30 años, las zanjas suponen un coste de 1.309€/ml, frente a 1.736,11€/ml que supone la construcción de la galería.

Cuando se habla de Avenida, el coste de la opción de servicios aislados pasa a tener un coste de 2.529,25€/ml frente a los 2.229,41€/ml que supone la construcción de la galería.

**Tabla 11: Comparación costes a los 30 años**

<b>CALLE</b>	<b>Servicios Aislados (€/ml)</b>	<b>Galería (€/ml)</b>
<b>Sentido Único</b>	1.267,48	1.689,31
<b>Doble Sentido</b>	1.309,82	1.736,11
<b>Avenida</b>	2.529,25	2.229,41

Se puede concluir por tanto que, en el escenario planteado de vida útil de 30 años y con los periodos de renovación de las redes supuestos, las secciones con servicios aislados resultan más rentables para el caso de sentido único y doble sentido. Sin embargo, las galerías comienzan a ser viables en el caso de las avenidas

## 5.1 ANÁLISIS PROBABILISTICO

Los datos anteriores no son fijos, es decir, no siempre se cambia la red de telefonía justo cada 5 años, unas veces será cada 5 años, otras cada 7 o cada 3. Es por ello, que se debe hacer un análisis probabilístico y estudiar que probabilidad existe de que se tenga que cambiar cada servicio.

Por tanto, y con el fin de ser lo más precisos posible, se va a realizar una simulación Montecarlo.

El método de Montecarlo (Peña, 2001) es un método no determinista o estadístico numérico, usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud.

Este método proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en un ordenador. El método es aplicable a cualquier tipo de problema.

### ¿Cómo se hace?

Lo primero es darle una probabilidad de fallo a cada servicio en función de los valores supuestos previamente:

**Tabla 12: Probabilidad de fallos de los servicios**

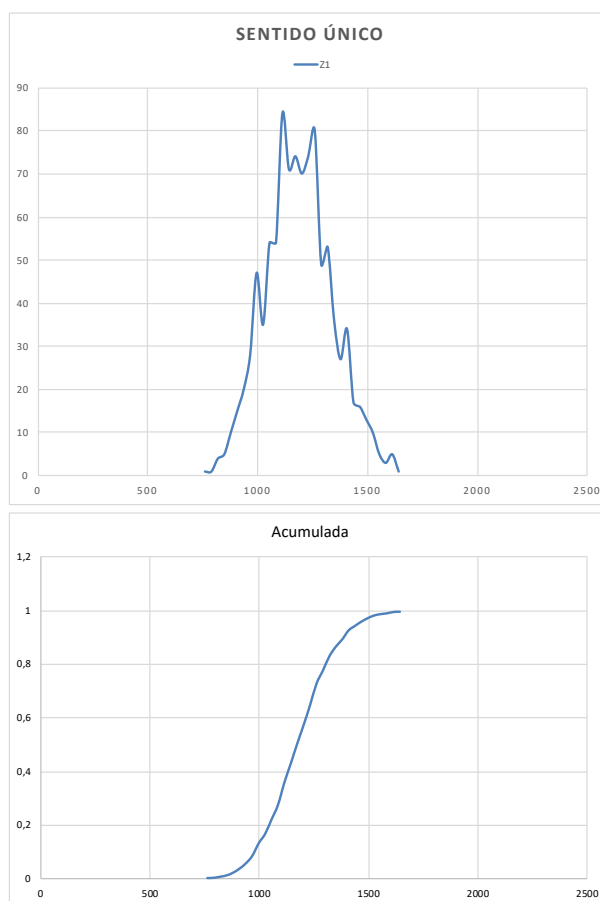
SERVICIO	PROBABILIDAD
Telefonía	0,2
Gas	0,1
Abastecimiento	0,0667
Drenaje y Saneamiento	0,0667
Electricidad	0,05
Alumbrado Público	0,034

Lo segundo es decidir el horizonte para el cual se va a realizar el estudio, en este trabajo se va a realizar a 30, 50 y 100 años.

Con esto, se crea una probabilidad de fallo aleatoria para cada servicio, si esta es menor que la supuesta en la tabla anterior, se debe abrir la zanja, y por tanto genera un coste, en caso contrario, se queda como está. Cuando tenemos todos los años, se suman los costes de cada año, se calcula la suma de costes descontados y el VAN (Valor Actual Neto).

Gracias a la Simulación de Montecarlo podemos realizar todas las iteraciones que queramos en un periodo de tiempo muy breve. Se va a hacer con 1000, es decir, se va a ejecutar 1000 veces el mismo ejercicio, obteniéndose 1000VAN diferentes para cada estudio. Estos se van a agrupar en unos histogramas que mostrarán los valores entre los que se mueve cada caso, y mediante picos, mostrará los valores mas comunes.

## 5.2 INTRODUCCIÓN A LOS RESULTADOS OBTENIDOS



**Figura 16: Histograma Zanjas. Sentido Único (Estándar. 30 años)**

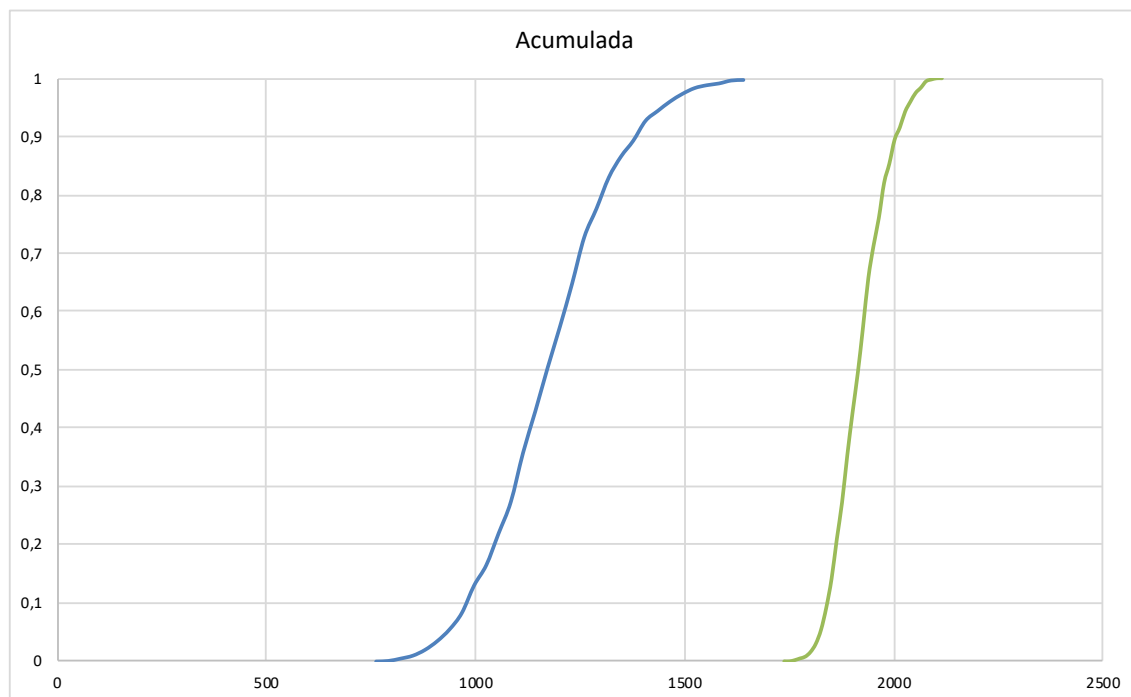
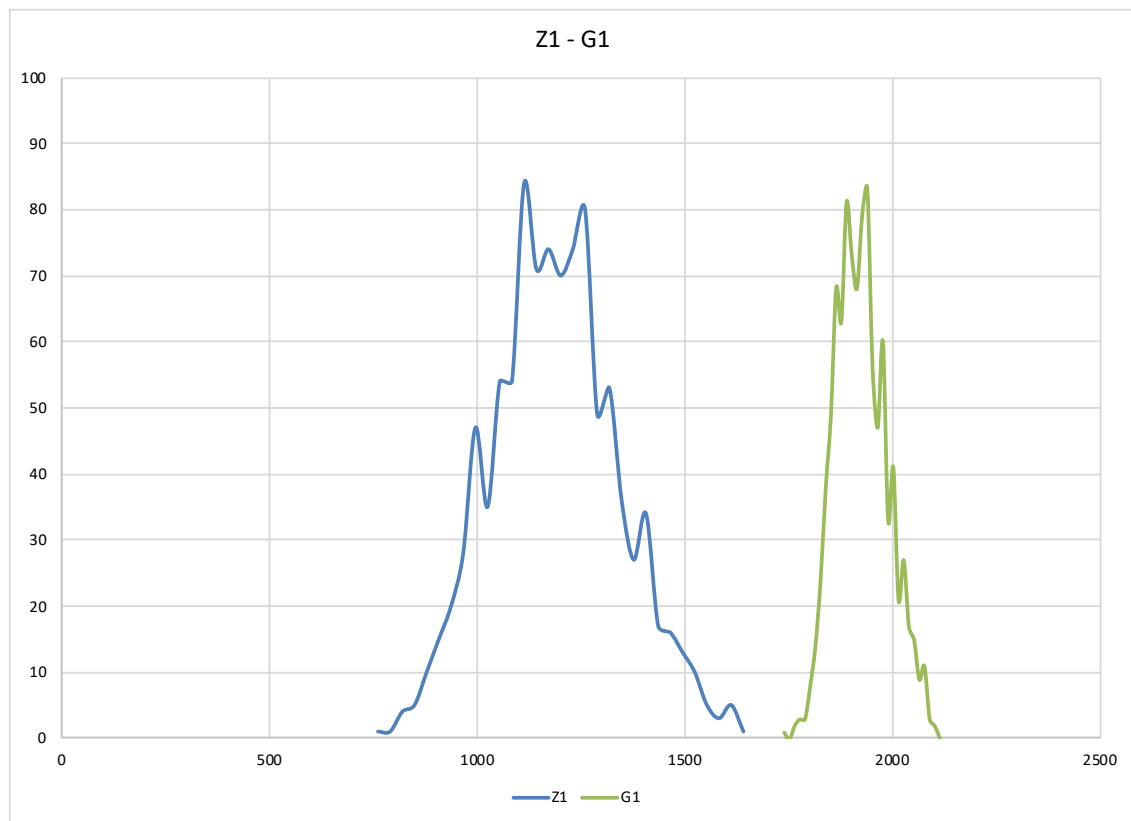
Una vez que se ha ejecutado la simulación de Montecarlo, este nos muestra los 1000 resultados de las 1000 iteraciones que se ha mencionado anteriormente y los agrupa para poder dibujar las graficas superiores, mostrado:

- En VAN en el eje X
- La frecuencia en el eje Y

Los picos que se muestran en los histogramas representan los valores mas comunes. Por ejemplo, en el histograma Z1 de la Figura 17 se muestra que el valor mas común corresponde a un VAN de unos 1100€, mientras que en el de G1 (Figura 18), el valor mas común es de aproximadamente 1800€

Esto se realiza para todos los casos, y con el fin de poder entender mejor las graficas, se dibuja la acumulada.

Una vez se han obtenido estas graficas para ambos casos (Zanjas y Galerías) se procede a su comparación tal y como se muestra en la figura 18.



**Figura 17: Comparación de los Histogramas de Zanjas y Galería de las calles de Sentido Único.  
(Estándar. 30 años)**

## 5.3 RESULTADOS

Este apartado presenta los resultados obtenidos del análisis anterior y de las distintas simulaciones obtenidas para cada una de las secciones estudiadas. Se presentan a continuación los resultados y un breve análisis para el caso estándar, así como para diferentes vidas útiles y diferentes horizontes temporales. Al final de la sección se incluyen gráficas que explican los resultados obtenidos.

### 5.3.1 Estudio base

El primer caso que se va a estudiar es el mismo que se ha calculado en el apartado 5 mediante el escenario de sucesos calculado con los datos fijos, cuyo resultado fue el que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Zanjas VS Galería (30 años)

CALLE	Servicios Aislados (€/ml)	Galería (€/ml)
Sentido Único	1.267,48	1.689,31

Mediante el método Montecarlo se puede ver entre que valores se mueven ambos casos, y los valores mas comunes que se muestran en forma de pico

Para el caso de Sentido único las zanjas abarcan valores desde aproximadamente 750€ hasta 1.650€ mostrando un pico en 1.100€, mientras que las galerías parten de 1.750€ hasta llegar a un valor máximo de 2.150€ y cuyo pico se sitúa en un valor de 1.800€. Es decir, siempre es mas económico realizar los servicios aislados que las galerías ya que el valor máximo que se obtiene mediante las zanjas es de aproximadamente 1.650€, mientras que el mínimo valor de la galería es de unos 1.750€.

Lo mismo ocurre en calles de doble sentido, el máximo valor obtenido con el método de zanjas es prácticamente el mismo que el mínimo valor que se obtiene en galerías.

Sin embargo, en el caso de la avenida, si observamos el histograma, se puede ver que se cortan ambas curvas en dos puntos:

- Primer punto para un VAN de 1.600€ que indica que hasta ese punto las zanjas son siempre mas económicas que las galerías.
- Segundo punto para un VAN de 2.950€ a partir del cual la galería empieza a ser mas barata que el método de servicios aislados.

Para poder entender mejor, se realiza a gráfica acumulada, en la cual se puede observar que las zanjas salen rentables en un 97% de las veces, siendo mas económico realizar la galería tan solo en un 3%.

Es decir, pensando en un periodo de 30 años, con los datos de todos los párrafos anteriores, económicamente hablando, las zanjas son la mejor solución, independientemente del tipo de calle.

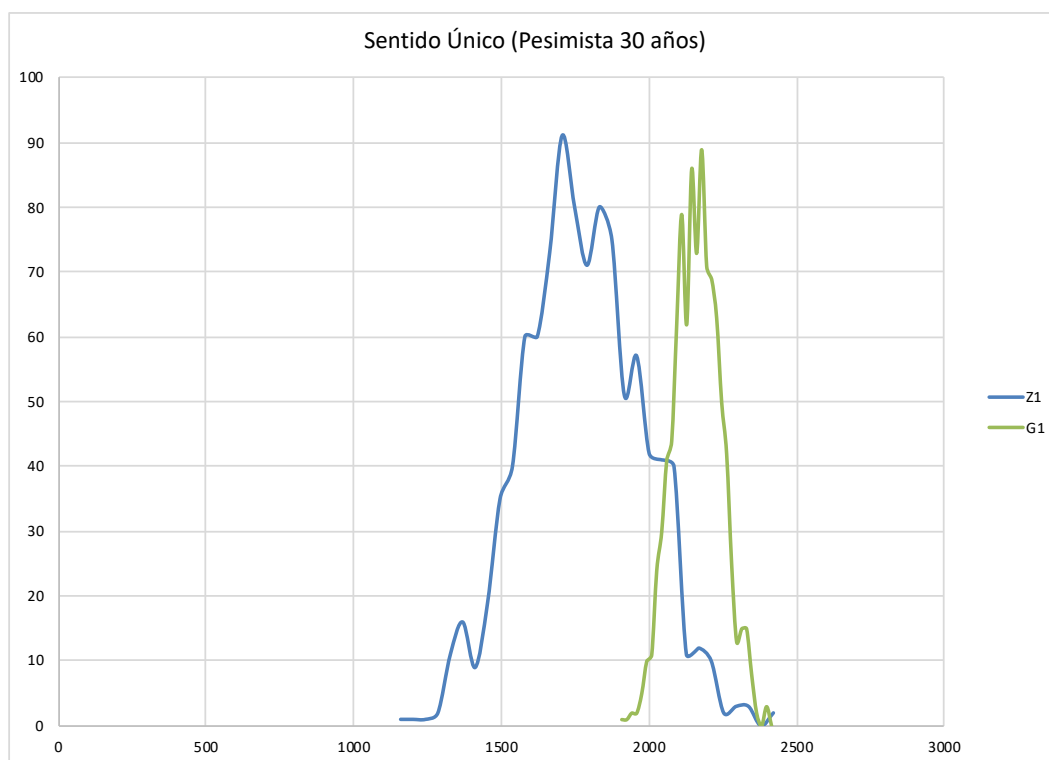
### 5.3.2 Estudio de diferentes vidas útiles

Debido a que las probabilidades a la hora de realizar el escenario de sucesos son suposiciones basadas en la propia experiencia, se va a realizar un caso optimista, dividiendo la probabilidad base entre dos, y otro pesimista duplicándola, con el fin de poder obtener más datos para el estudio.

**Tabla 14: Probabilidades de fallo de las distintas vidas útiles**

Servicio	Vida útil		
	Pesimista	Estándar	Optimista
Telefonía	0,4	0,2	0,1
Gas	0,2	0,1	0,05
Abastecimiento	0,1334	0,0667	0,03335
Drenaje y	0,1334	0,0667	0,03335
Alumbrado	0,0668	0,034	0,017
Electricidad	0,1	0,05	0,025

En estos casos pasa un poco lo mismo que en el caso estándar. En la calle de sentido único y en la de doble sentido, la solución de las zanjas es la mas económica, tanto en el caso optimista como en el caso pesimista. Si en el caso estándar en ningún momento se cortaban ambas gráficas, en el caso optimista mucho menos.



**Figura 18: Comparación de los Histogramas de Zanjas y Galería de las calles de Sentido Único. (Pesimista. 30 años)**



En el caso pesimista la cosa cambia, como se ve en la Figura 19, las gráficas de zanjas y galerías vuelven a cortarse en dos puntos como en el caso de avenida anterior.

- Primer punto para un VAN de 2.050€ que indica que hasta ese punto las zanjas son siempre mejor opción ante las galerías.
- Segundo punto para un VAN de 2.850€ a partir del cual la galería empieza a ser más económicas que el método de servicios aislados.

Cuando dibujamos la gráfica acumulada se observa que, a pesar de cortarse en dos puntos, la galería no llega a ser viable ni en un 1% de los casos.

Aunque, como se puede observar en la figura 19, a pesar de ser siempre más viable la solución de servicios enterrados, los valores mas comunes en ambos casos, no se distancian mucho. Para las zanjas, el valor mas común se sitúa en aproximadamente 1.700€ mientras que para las galerías este asciende a 2.300€. Hay tener en cuenta que el rango en el que se mueve el valor de las galerías se encuentra dentro del rango de las zanjas. Es decir, la construcción de una calle con servicios aislados en un caso pesimista con un horizonte de 30 años puede suponer desde 1.300€/ml hasta aproximadamente 2.450€/ml. Siendo el rango de la galería desde 1.850€/ml, hasta los mismos 2.450€/ml de las zanjas. Lo que significa que, en el peor de los casos, la construcción de las zanjas y la opción de una galería visitable cuesta exactamente lo mismo.

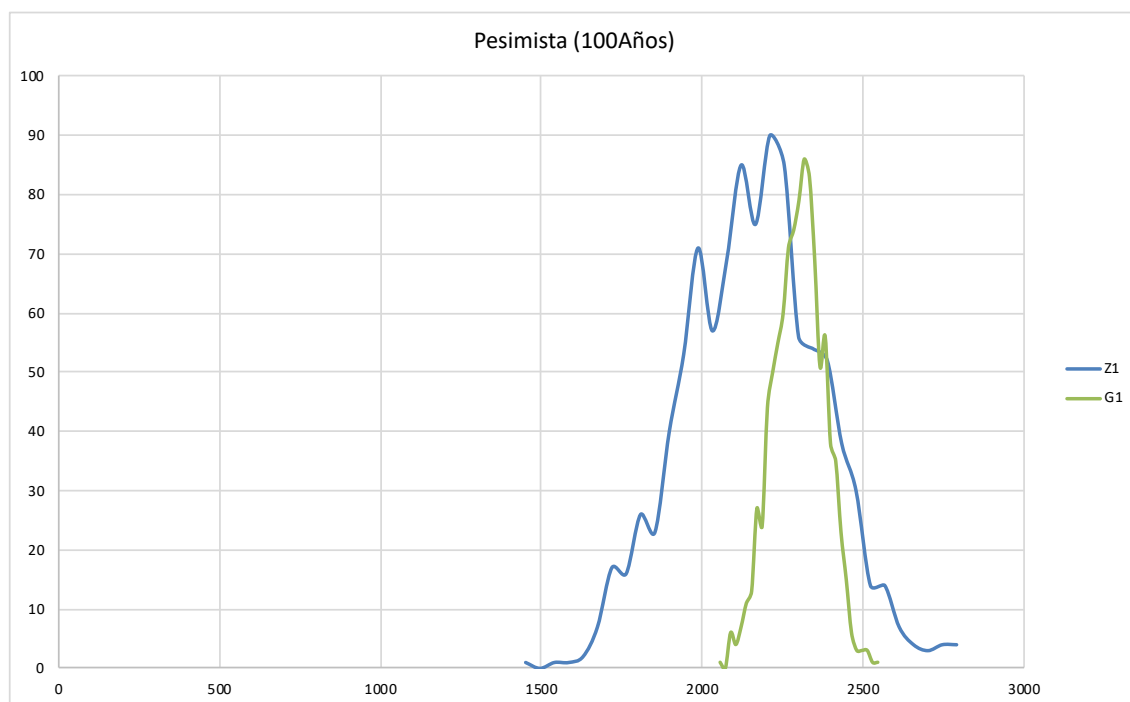
Sin embargo, cuando se habla de la avenida, que en el caso estándar la galería superaba a las zanjas en tan solo un 3% de los casos, cuando nos ponemos en el caso pesimista, se da la vuelta a la situación, siendo la mejor solución la de la galería en un 94% de los casos.

### 5.3.3 Estudio de diferentes horizontes

30 años es un horizonte muy corto para este tipo de obras, es por ello, que en este apartado se va a realizar el mismo estudio, pero en vez de a 30 años, a 50 y a 100 años.

En cuanto se aumenta el horizonte, la cosa cambia. Cuando hablamos de un horizonte de 50 años, y nos ponemos en la versión pesimista, las galerías empiezan a superar a las zanjas en porcentajes muy bajos, aproximadamente un 5% en los casos de sentido único y doble sentido. Mientras que, en las avenidas, la solución de la galería es casi un 100% mejor que la de las zanjas.

En cambio, en el caso estándar, al igual que con el horizonte de 30 años, en los casos de sentido único y doble sentido, la galería no tiene nada que hacer frente a las zanjas. Sin embargo, cuando nos referimos a las avenidas, aproximadamente un 16% las veces las galerías son mejor opción que las zanjas.

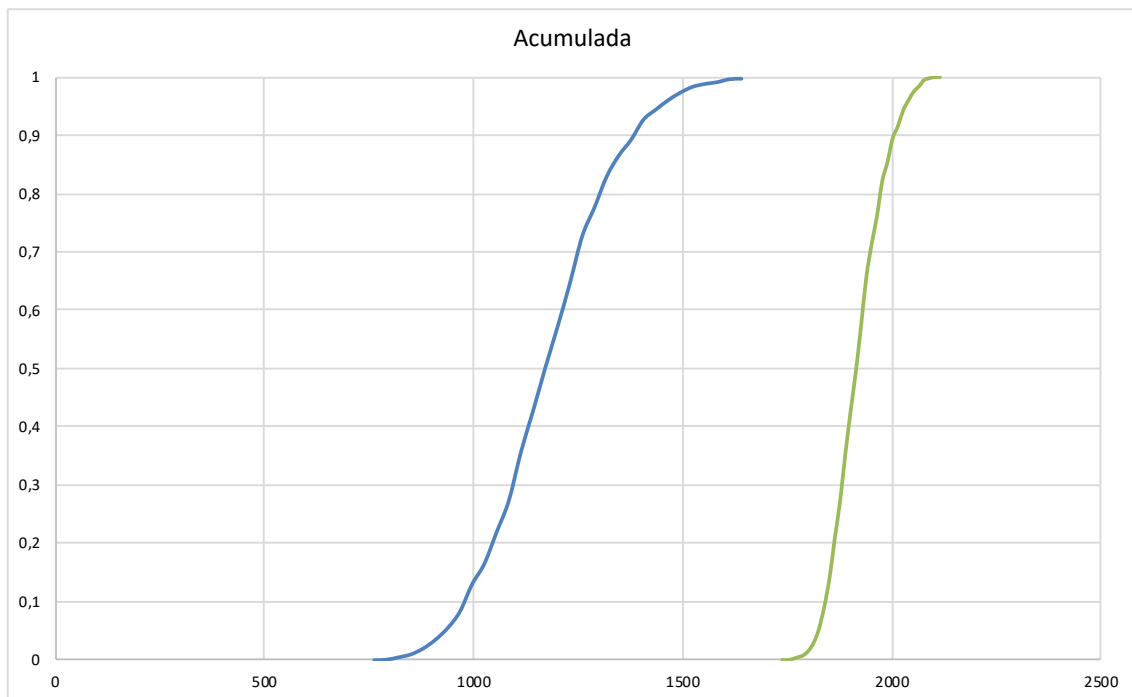
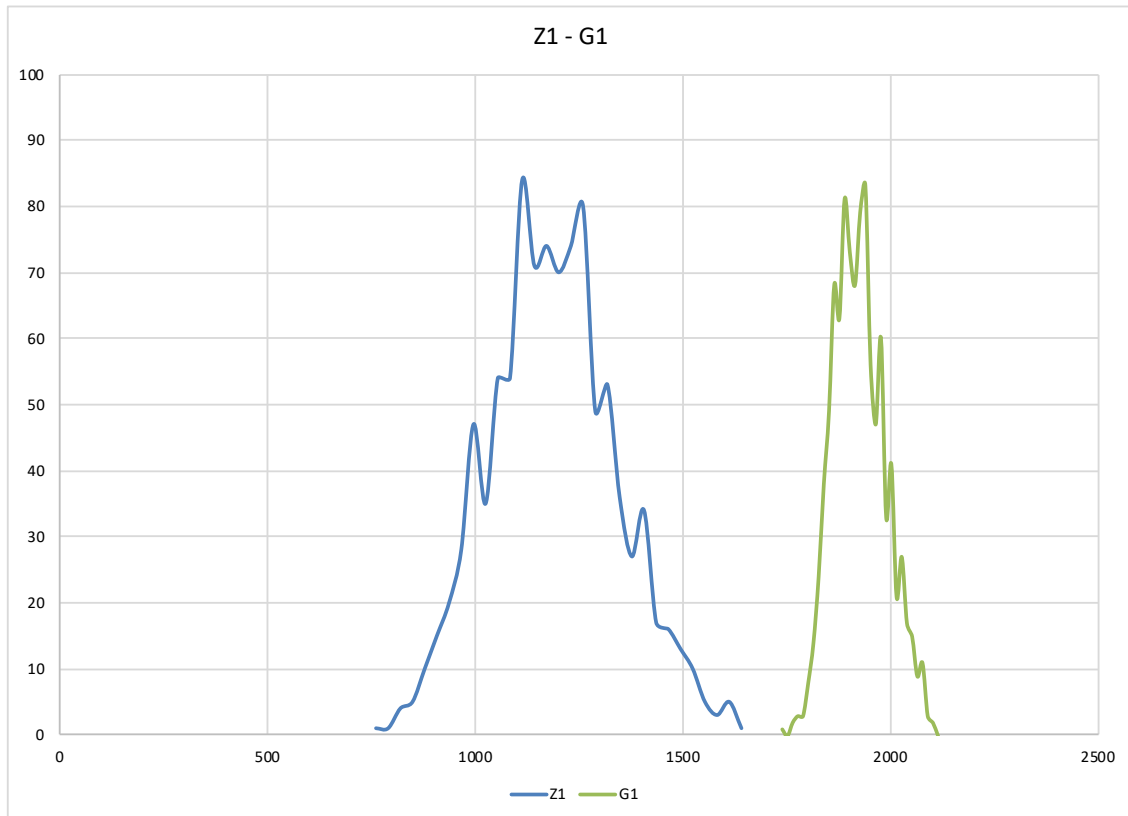


**Figura 19: Comparación de los Histogramas de Zanjas y Galería de las calles de Sentido Único. (Pesimista. 100 años)**

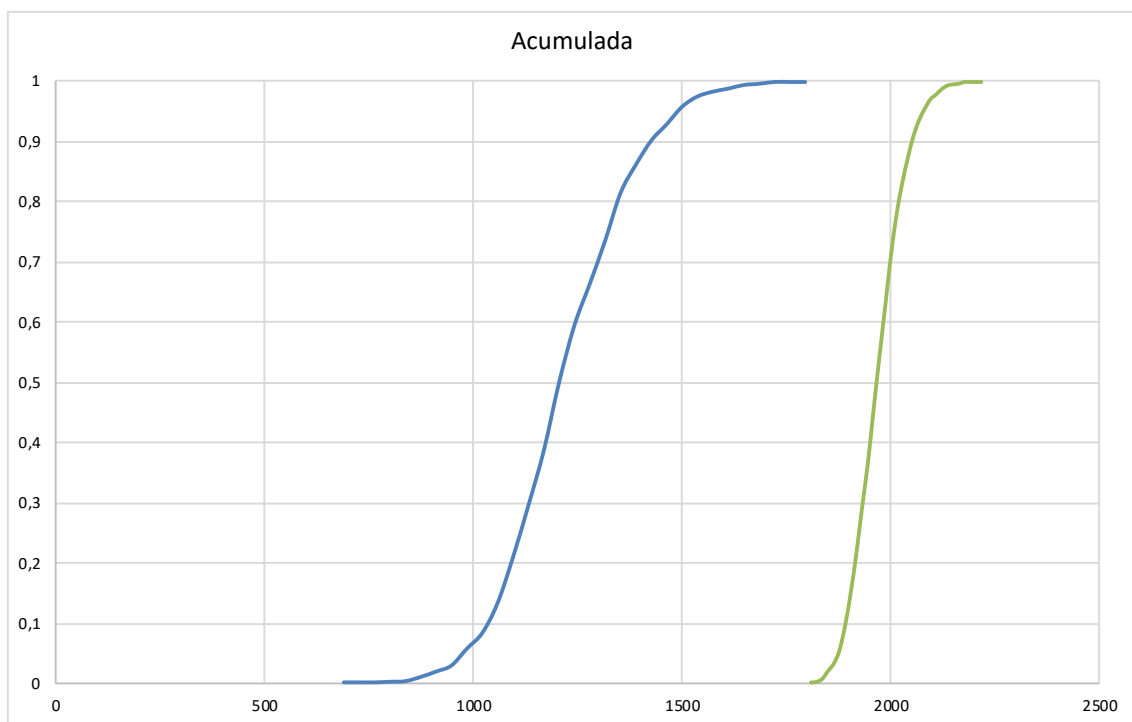
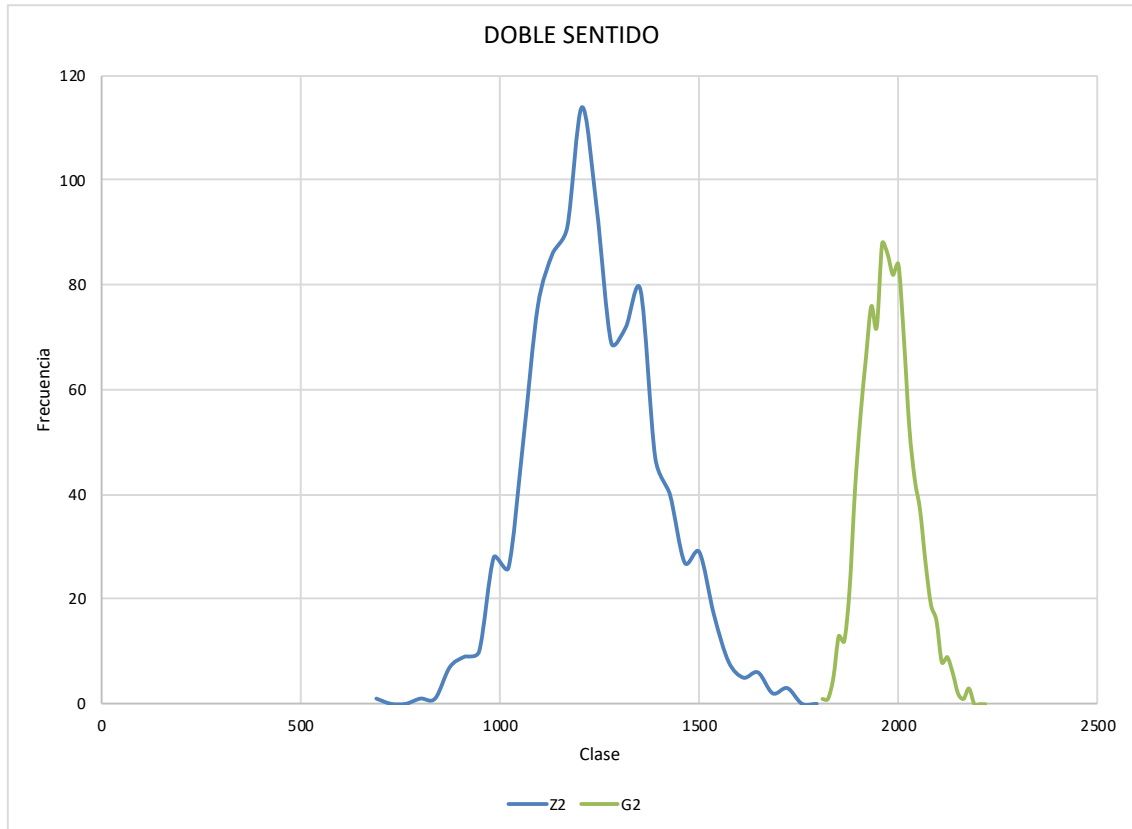
Si ampliamos un poco más, nos situamos en un horizonte de 100 años. La cosa no varía mucho, las zanjas siguen siendo la solución mas económica en mas del 50% de los casos a pesar de situarse en un escenario pesimista. Aunque en este caso, como se puede observar en la figura 20, la diferencia de precio entre los valores mas habituales no es excesiva, unos 2.450€ en el caso de las zanjas frente a unos 2.600€ cuando hablamos de galerías. Excepto como siempre en el caso de la avenida, que, aunque en su escenario estándar el uso de la galería aumenta hasta ser en un 28% de las veces la mejor solución, es solo en el caso pesimista que la galería es siempre la mejor opción.

### 5.3.4 Graficas

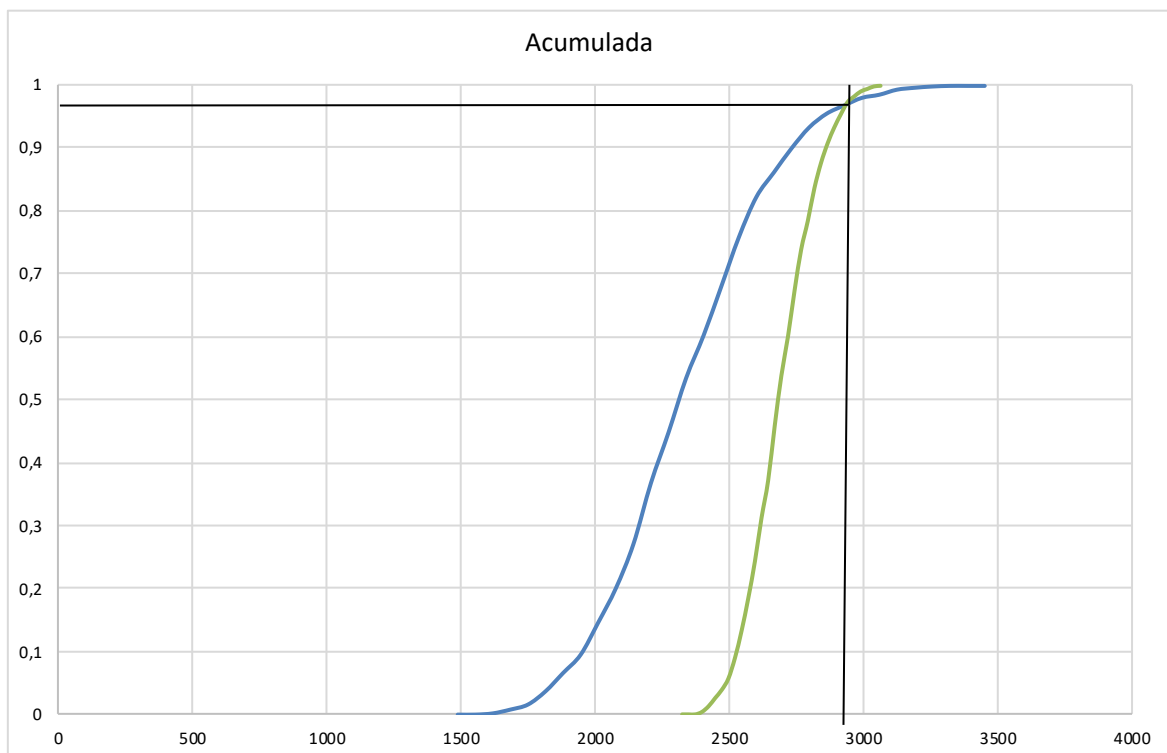
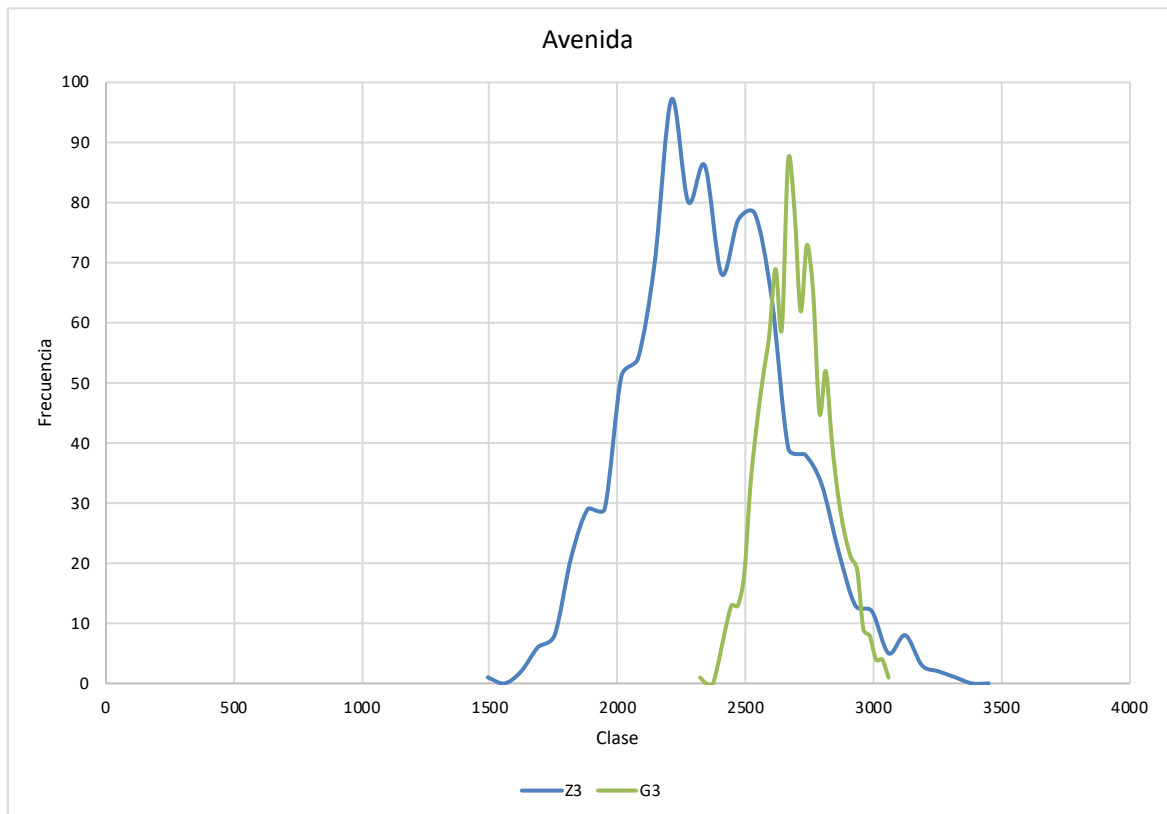
#### SENTIDO UNICO 30 AÑOS



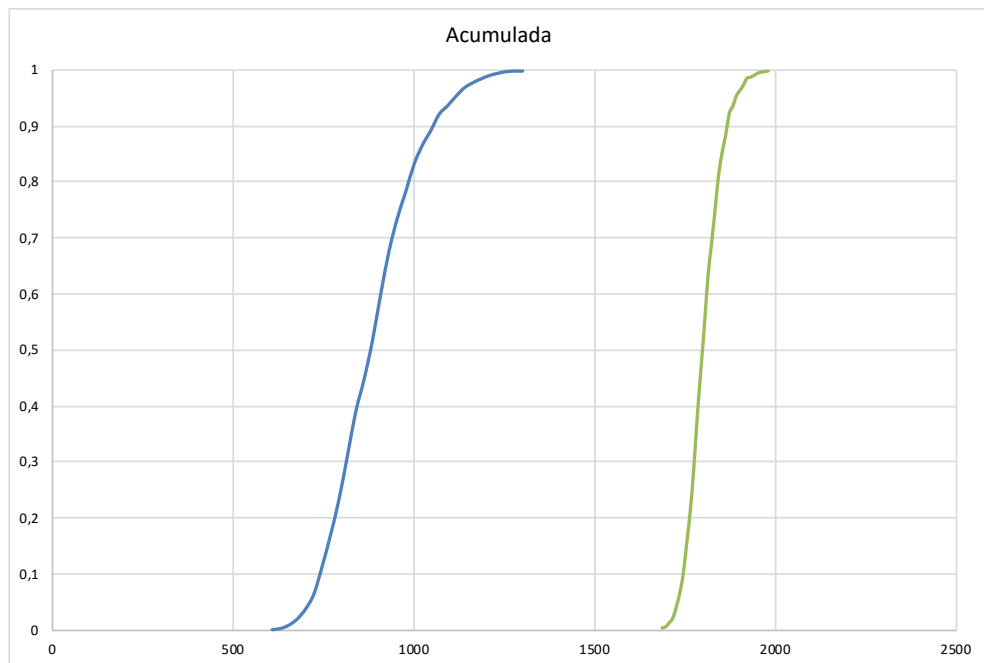
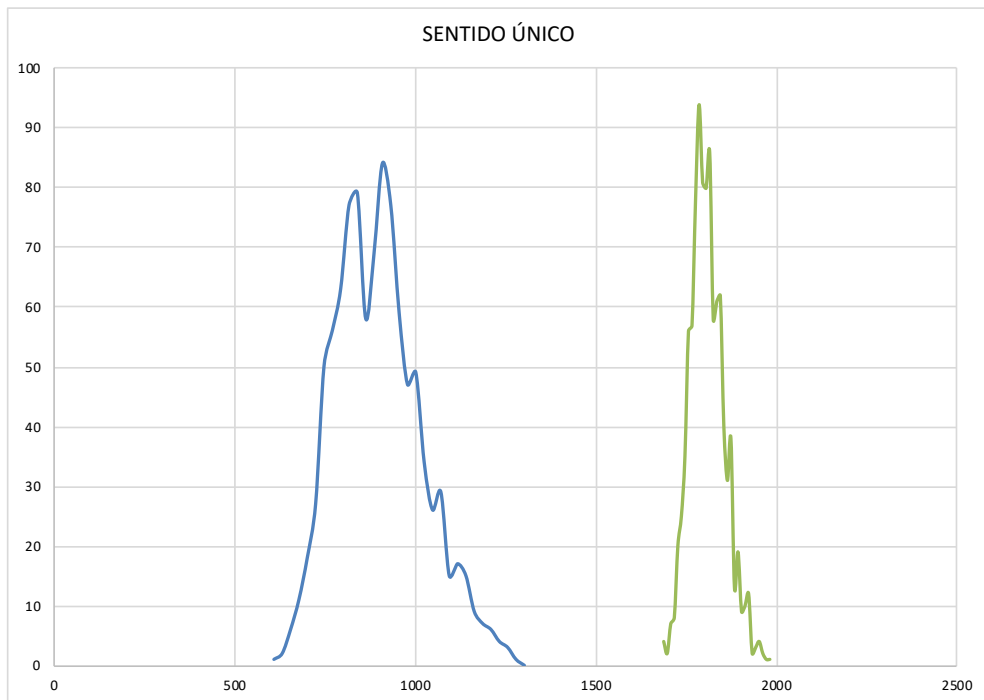
## DOBLE SENTIDO 30 AÑOS



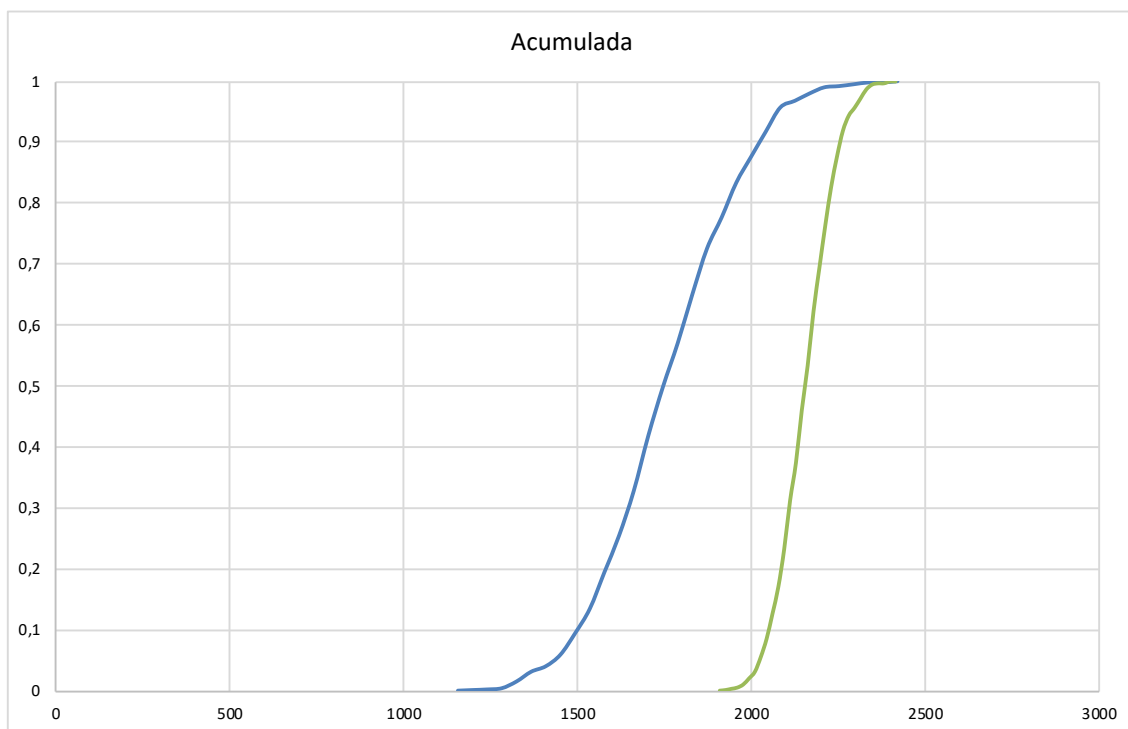
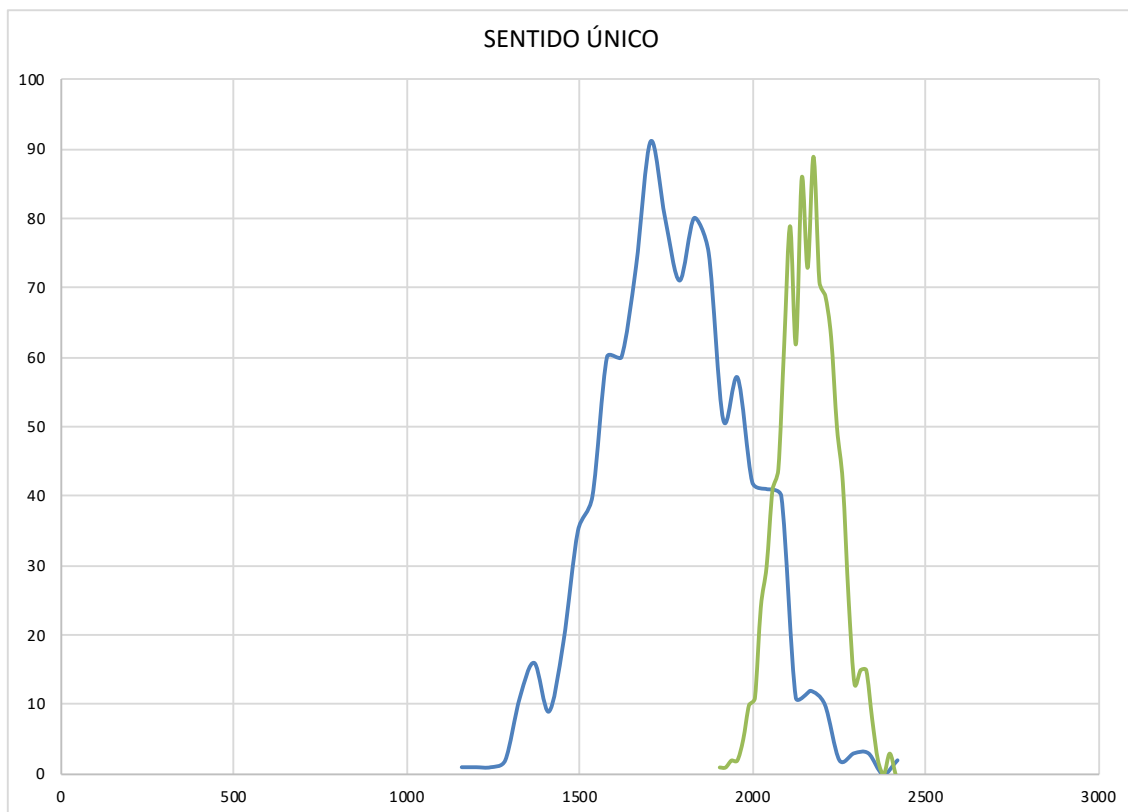
## AVENIDA 30 AÑOS



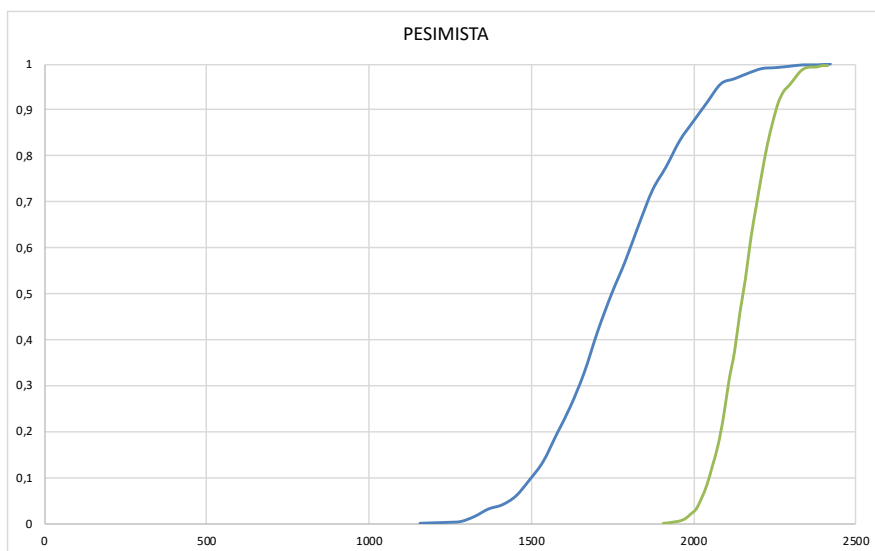
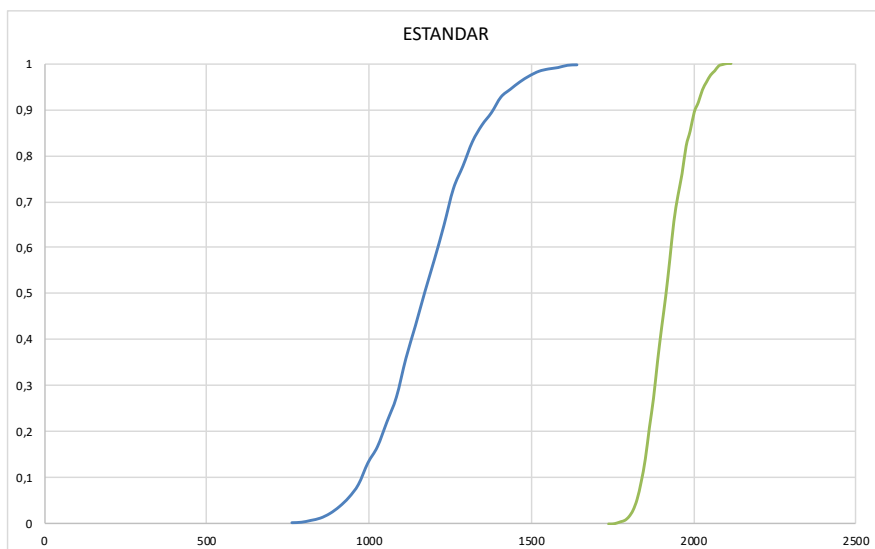
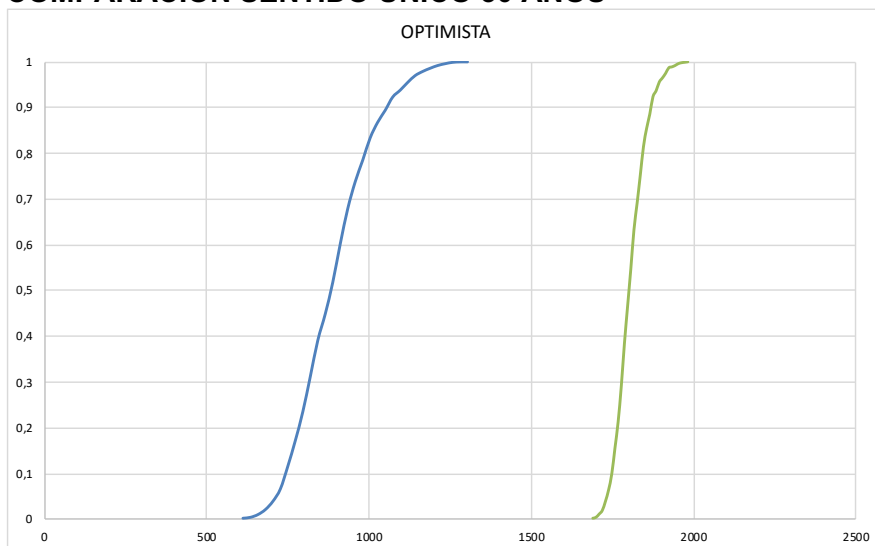
## SENTIDO UNICO OPTIMISTA 30 AÑOS



## SENTIDO UNICO PESIMISTA 30 AÑOS

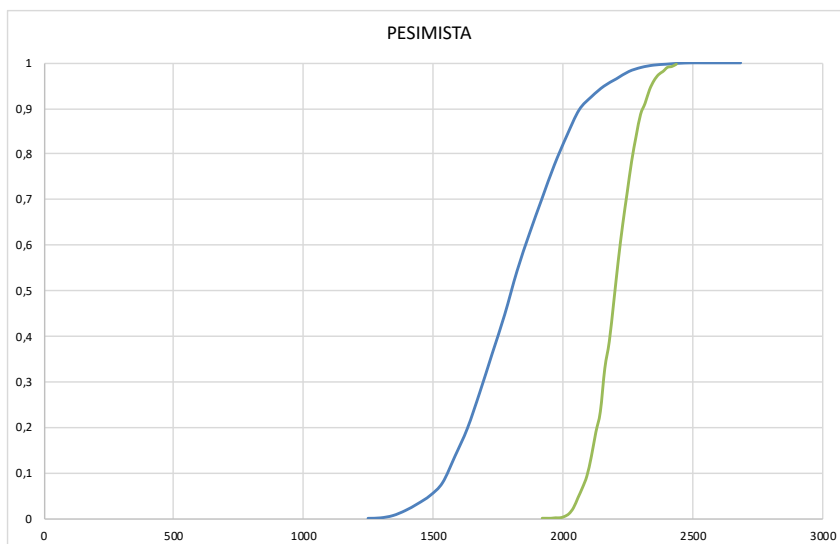
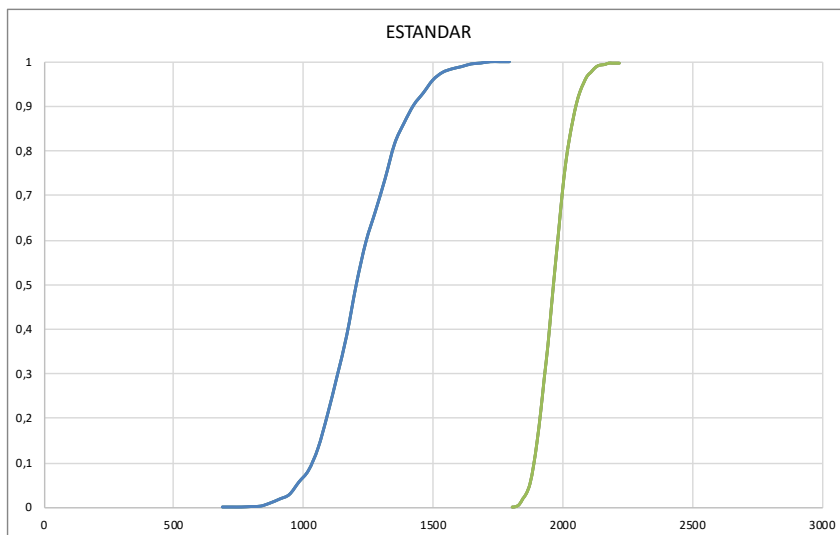
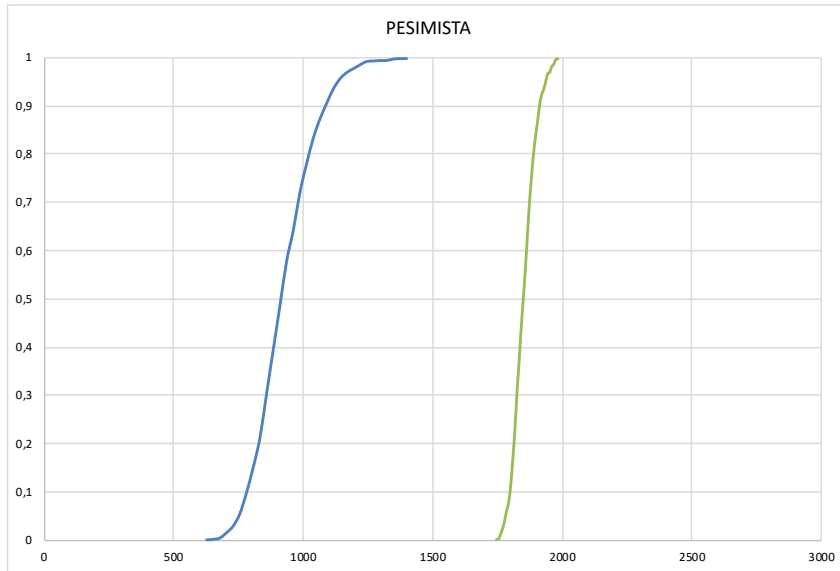


## COMPARACIÓN SENTIDO UNICO 30 AÑOS

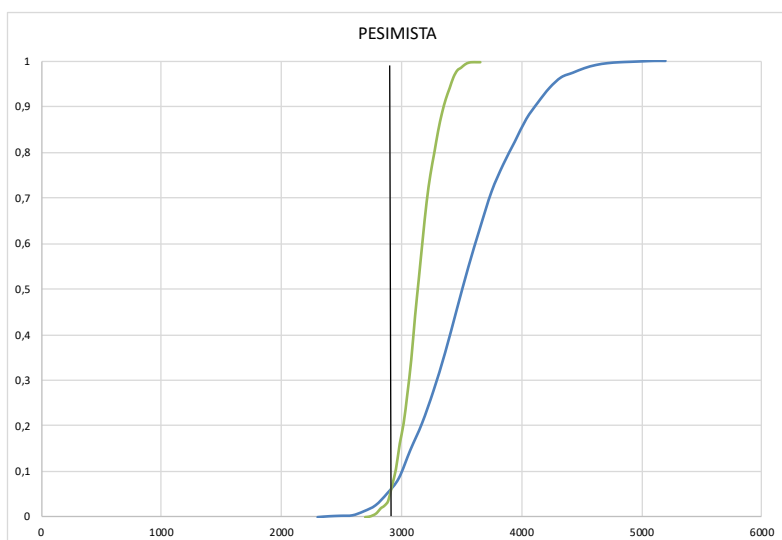
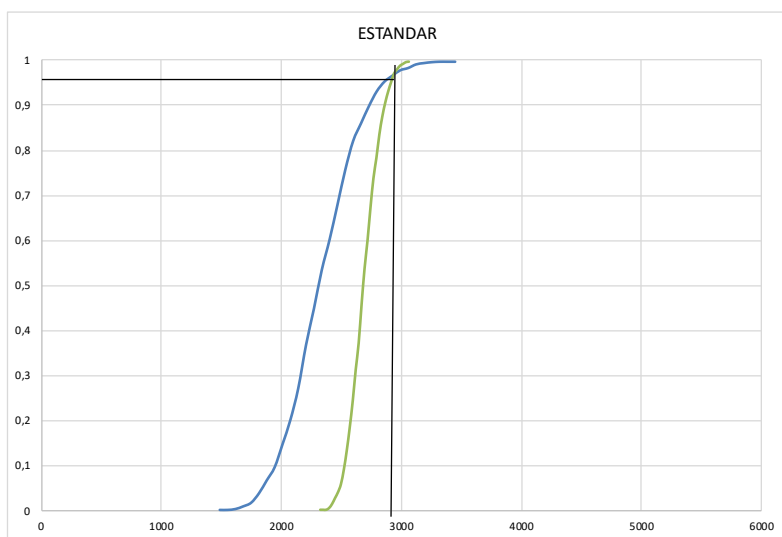
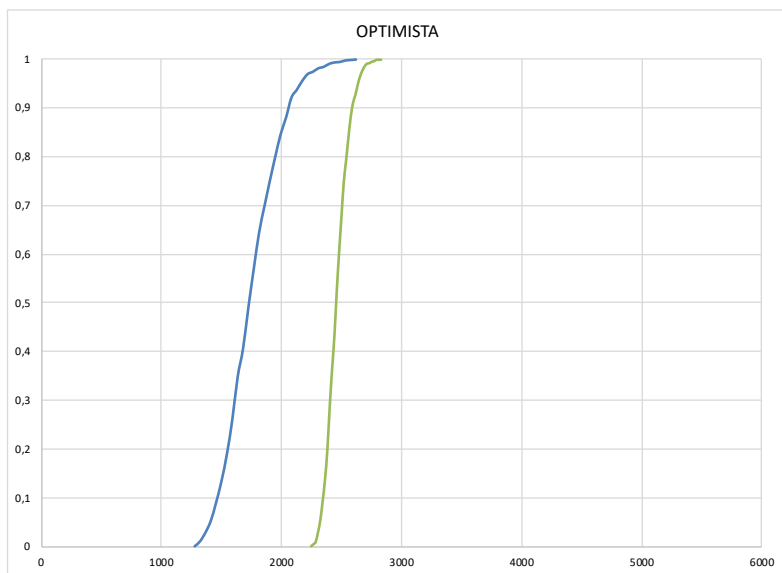




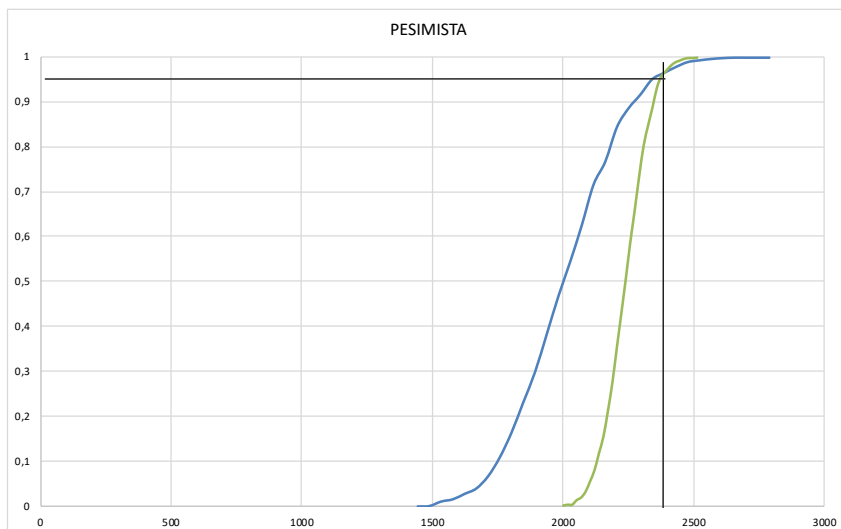
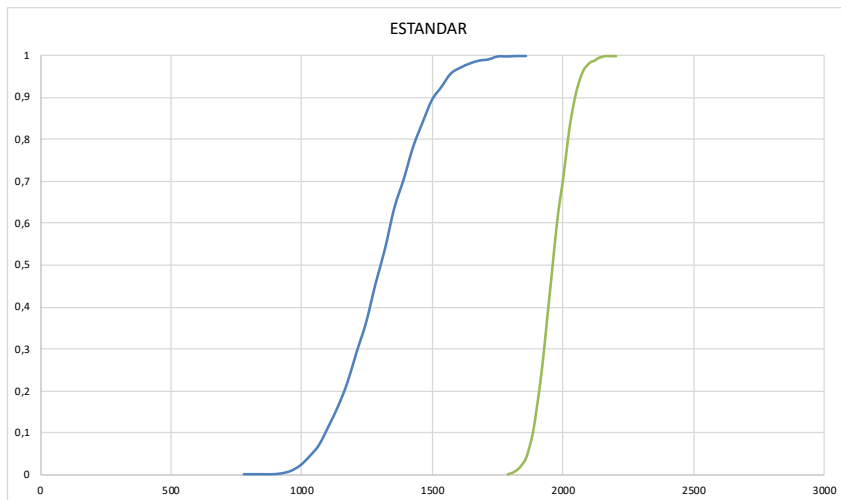
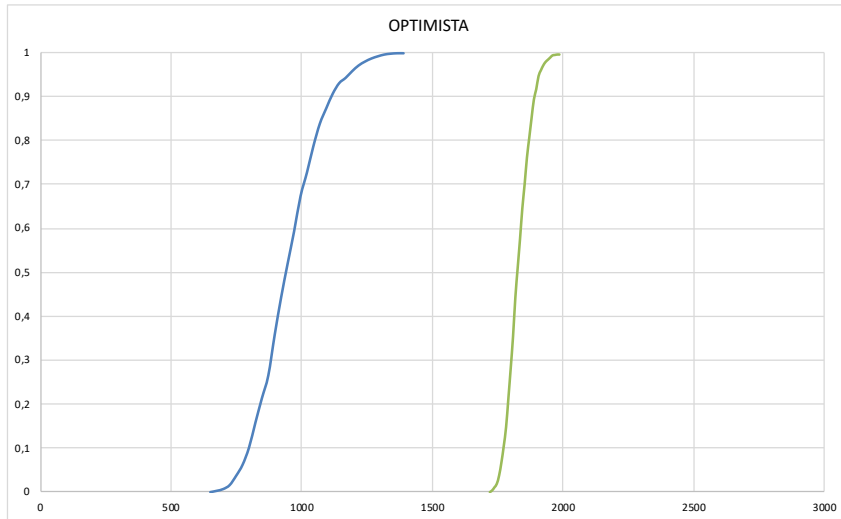
## COMPARACION DOBLE SENTIDO 30 AÑOS



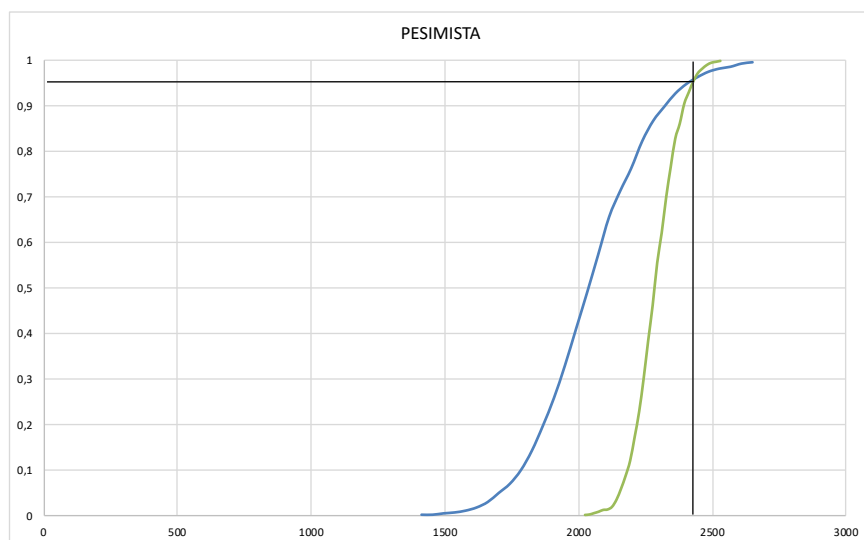
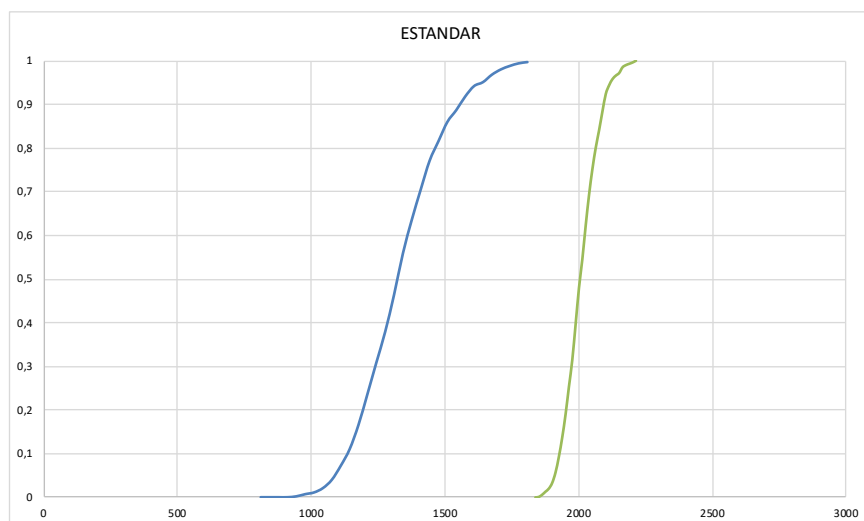
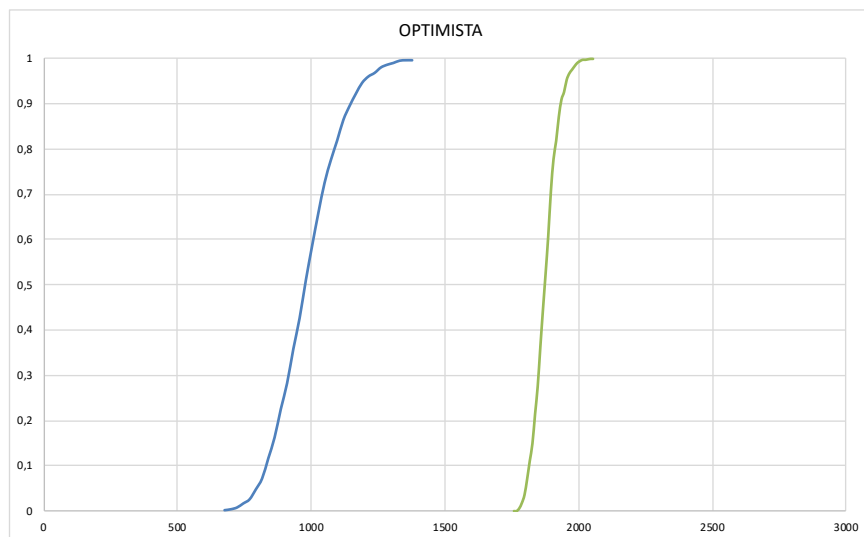
## COMPARACION AVENIDA 30 AÑOS



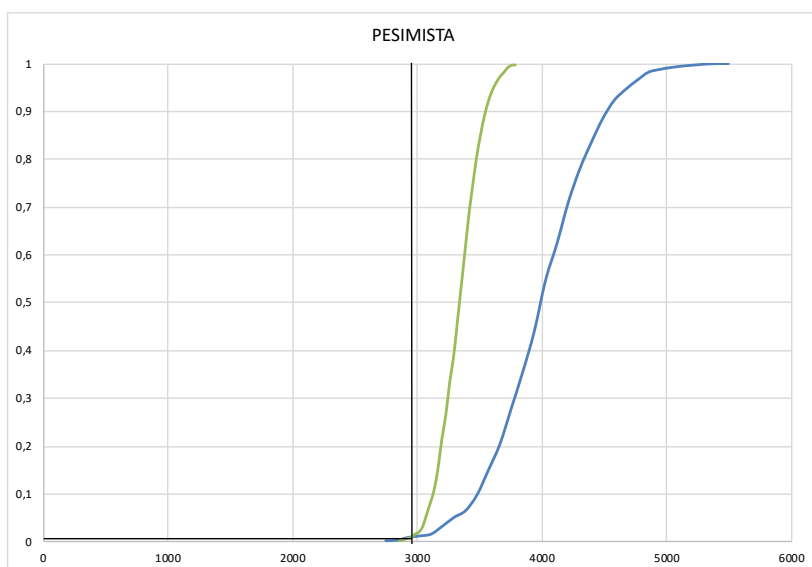
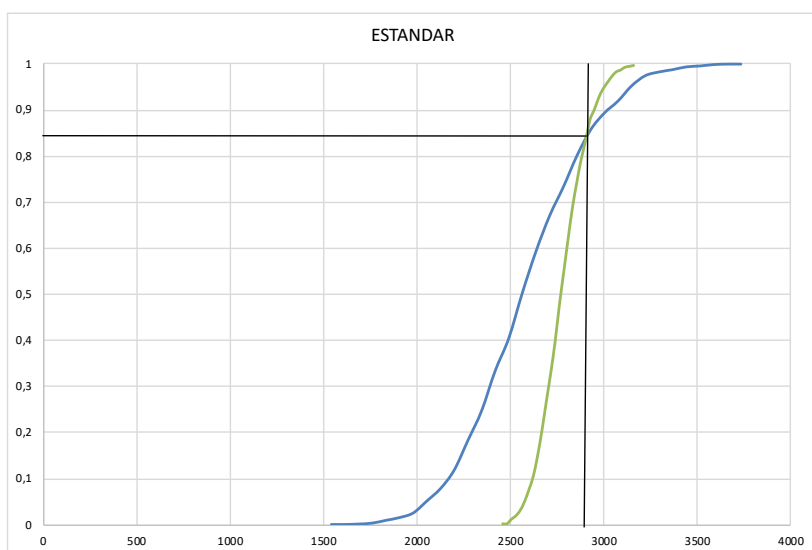
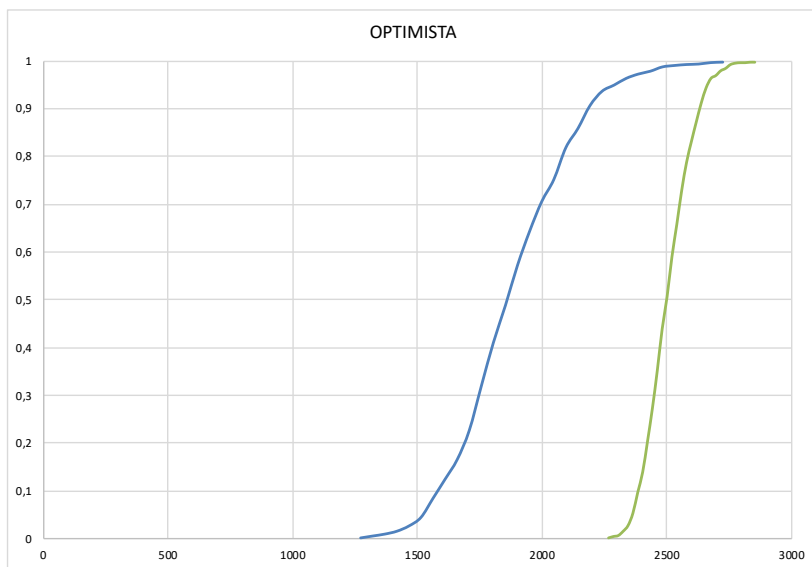
## COMPARACIÓN SENTIDO UNICO 50 AÑOS



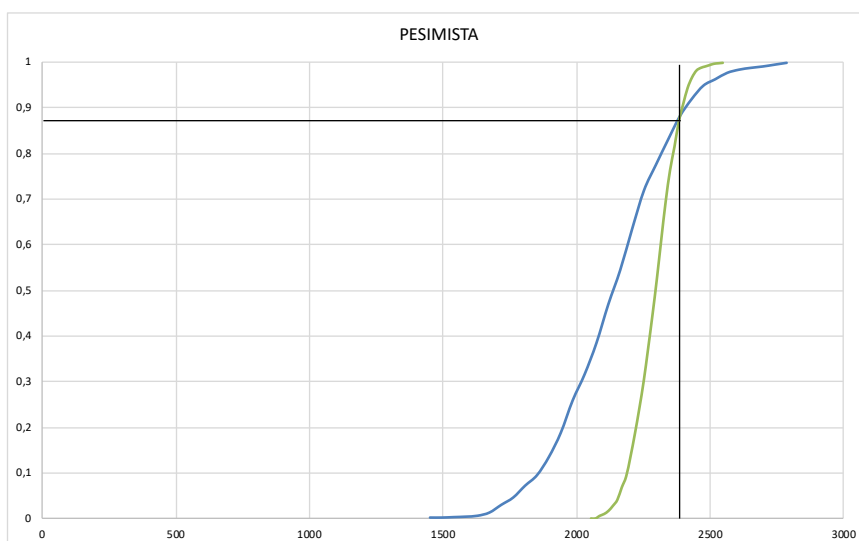
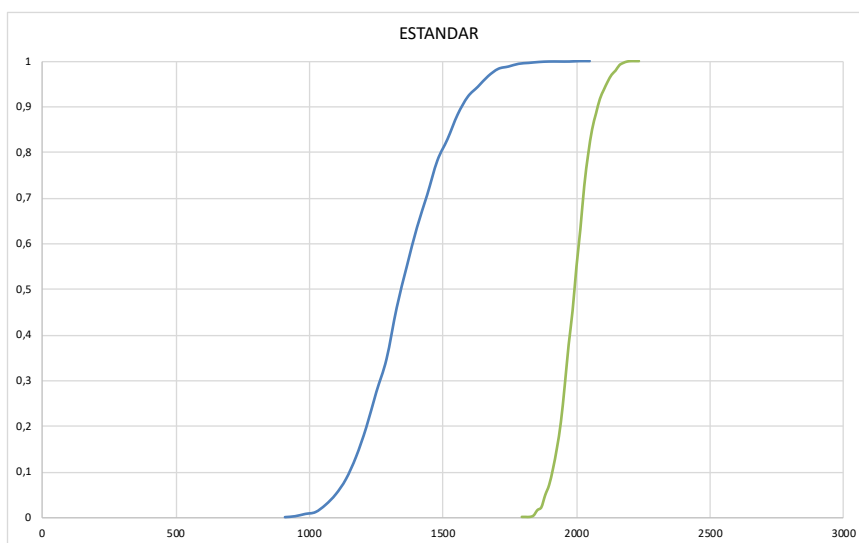
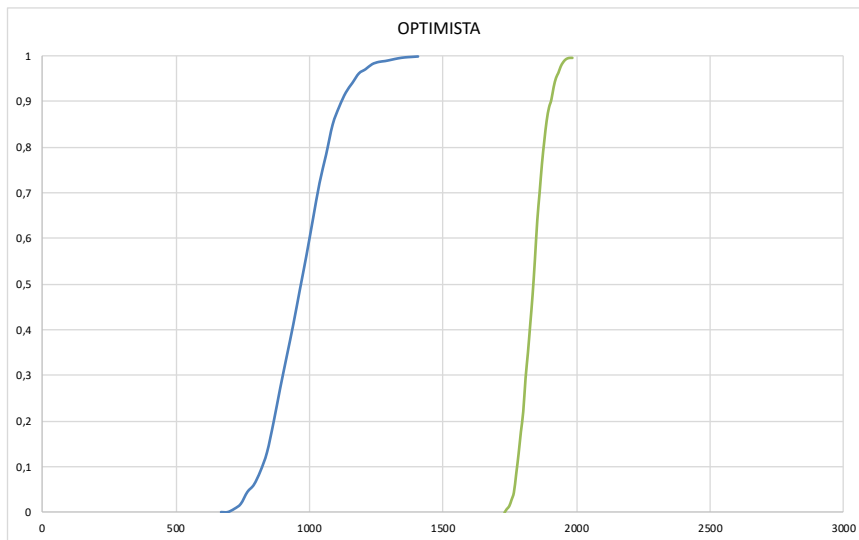
## COMPARACIÓN DOBLE SENTIDO 50 AÑOS



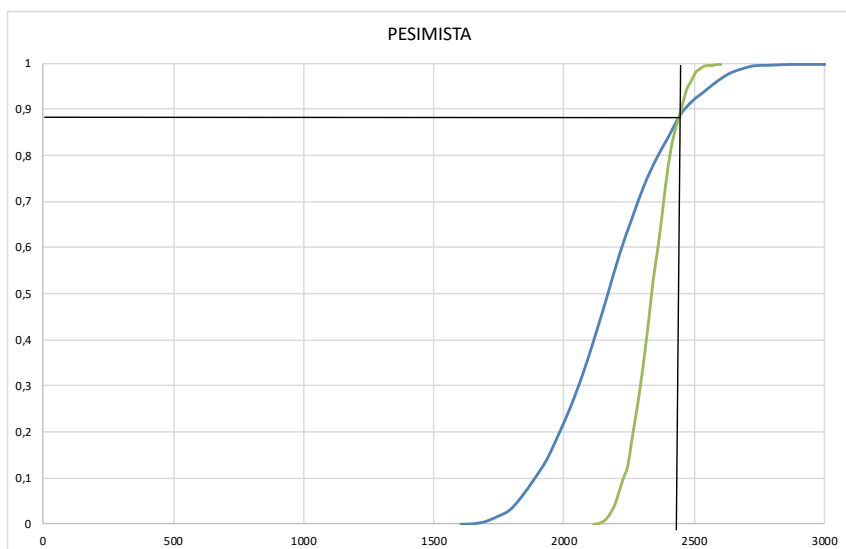
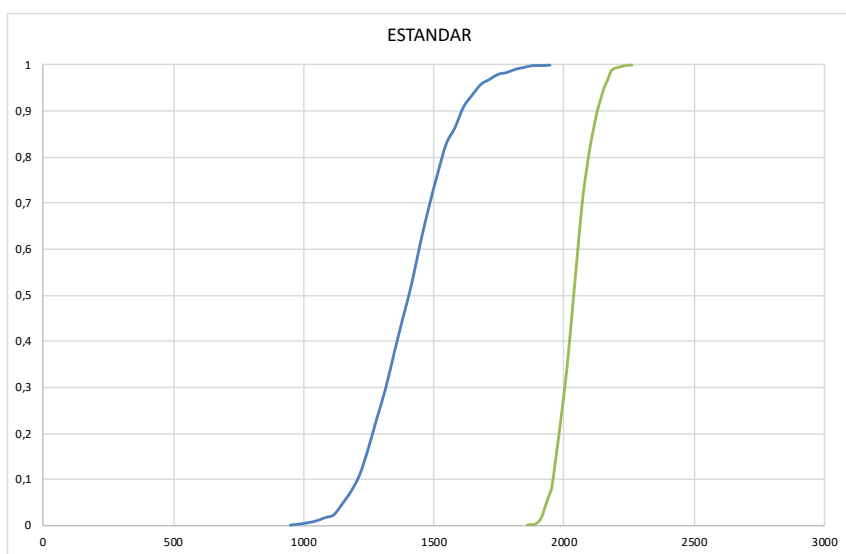
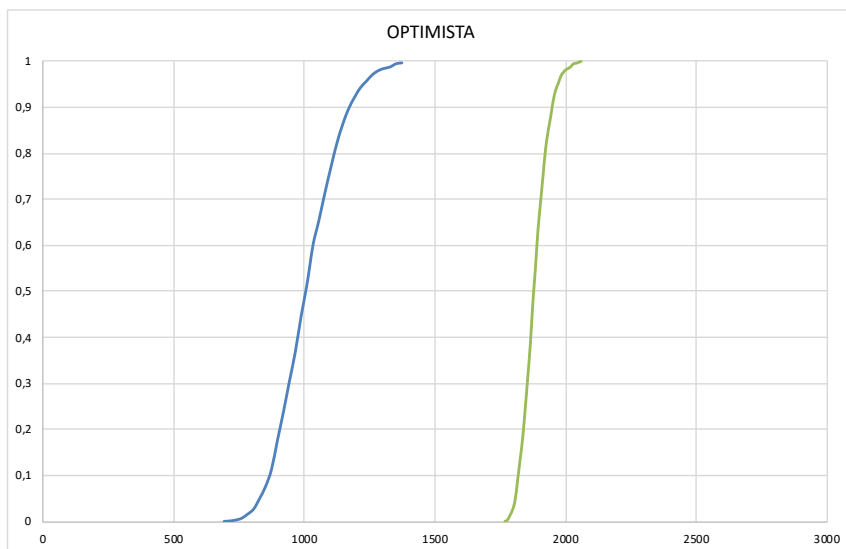
## COMPARACIÓN AVENIDA 50 AÑOS



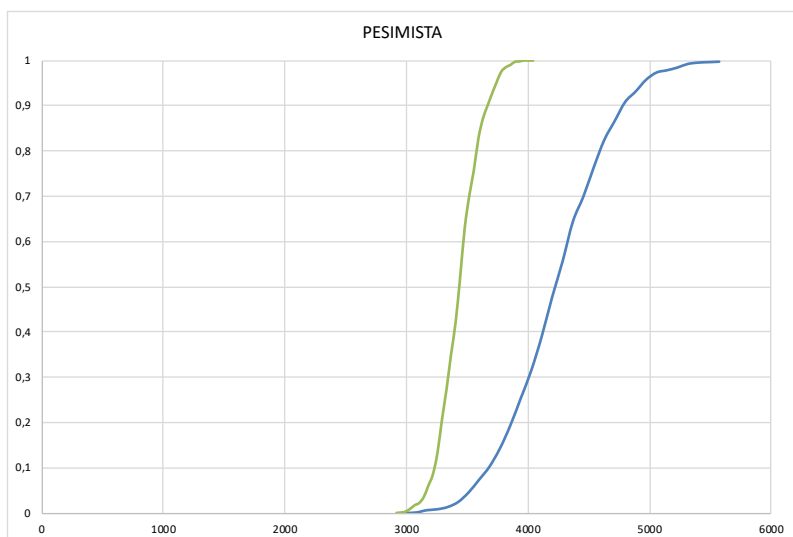
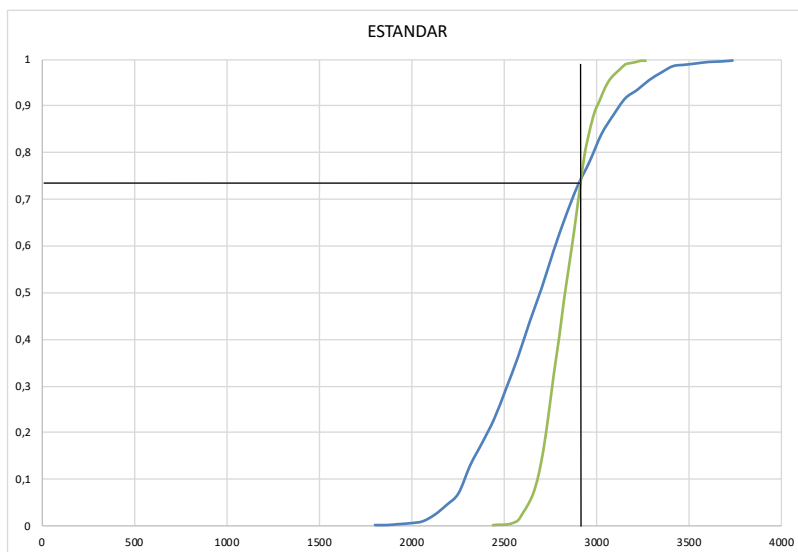
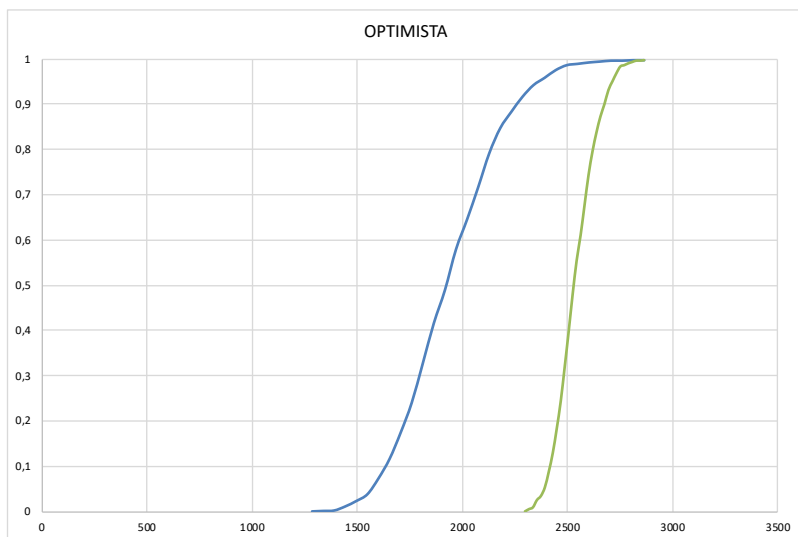
## COMPARACIÓN SENTIDO UNICO 100 AÑOS



## COMPARACIÓN DOBLE SENTIDO 100 AÑOS



## COMPARACIÓN AVENIDA 100 AÑOS





## 6 CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado, se ha podido concluir que las zanjas son casi siempre la mejor opción desde un punto de vista meramente económico ya que, solo sale viable la construcción de una galería visitable en los casos de grandes avenidas (que en el caso estándar y pensando a 100 años, la construcción de la galería sale mejor en un 28% de los casos, mientras que, en casos pesimistas, es siempre la mejor opción).

La justificación económica por tanto queda reducida a comparar los costes derivados de la instalación de los servicios enterrados (con sus gastos del mantenimiento y explotación, de repercusiones sobre el pavimento y del control de los servicios) con los gastos derivados de la construcción de las galerías (incluyendo los gastos de la instalación de los servicios, del mantenimiento y explotación).

En esta comparación deberían añadirse otro tipo de cuestiones no económicas, como son los costes sociales de la población que habita o circula por la zona. O cuestiones de seguridad, ya que, un dato importante es la falta de precisión en la localización de las averías y su consiguiente retraso en las reparaciones. Estimaciones realizadas señalan que los daños sufridos por los servicios en galerías, frente a su emplazamiento enterrado, se reducen hasta en el 90%.

A la vista de los resultados de este estudio comparativo sobre la utilización de galerías frente al sistema de enterramiento tradicional, cabe indicar que, al margen del mayor coste económico de la galería, esta aporta una amplia relación de ventajas en lo que afecta a su utilidad y sostenibilidad que fundamentalmente se hacen patentes a lo largo de la vida útil de la misma, sobretudo en las calles tipo Avenida.

Los principales beneficios de las galerías se podrían resumir en:

- Accesibilidad permanente a las redes, lo que permite su mantenimiento, un control continuo y una reparación inmediata.
- Organización estructurada. Posibilidad de superposición de redes, lo que incide en economía de espacios y racionalización en la utilización del subsuelo.
- Se reducen los tiempos de trabajos y reparaciones, y en consecuencia el coste de mano de obra.
- Se optimiza la gestión de residuos producidos por las obras.
- Se elimina la necesidad de realizar parcheos en las calzadas.
- Se eliminan los riesgos, molestias y ruidos que producen las obras.
- Se eliminan los riesgos de rotura accidental de cables y conducciones.
- Se optimiza el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las redes.
- Facilidad de mantenimiento y acceso. Por lo que se reducen las averías y escapes de las redes al poderse controlar visualmente.
- Se facilita la sustitución de redes antiguas y la incorporación de redes nuevas.

Por tanto, si se habla de un coste meramente económico, la solución propuesta de las galerías de servicios no resulta ventajosa. Sin embargo, en cuanto se le añaden otro tipo de cuestiones, tanto sociales, de accesibilidad, de seguridad, comodidad, durabilidad, etc... las galerías ganan terreno frente a las zanjas.

## 7 LECCIONES APRENDIDAS

Este TFG ha supuesto para mí todo un reto. La carrera en general se me complicó debido a situaciones personales que han marcado mis últimos años. Si algo tenía claro, es que aquello que empiezo lo termino, y este trabajo no iba a ser la excepción. Es por esto, que a pesar de todos los baches que he ido encontrando por el camino, me quedo con que me ha servido para aprender ciertas cosas.

La mayor lección que he aprendido tiene que ver con la perseverancia, si lo intentas, es probable que lo consigas, si te esfuerzas, sin duda lo harás, y he aquí el resultado. Otra lección personal que he obtenido es el poder hablar de mis problemas sin miedo a que me juzguen. Si no fuera por esto, seguramente seguiría retrasando la entrega de este trabajo una y otra vez.

Pero no todo han sido lecciones en el ámbito personal, gracias a este TFG he tenido que desarrollar mi capacidad para la búsqueda de información. He aprendido a realizar la estructura y planteamiento de un documento de investigación. Y, sobretodo, he aprendido nociones de análisis económicos de viabilidad.

Durante el desarrollo de este proyecto también he necesitado aprender a calcular el VAN (Valor Actual Neto) una vez calculados los costes totales de construcción y mantenimiento de los servicios mediante la fórmula:

$$\frac{C}{(1+i)^{t-1}}$$

Siendo:

$C$ : Costes totales de cada año

$i$ : Tasa de descuento

$t$ : Año

He aprendido que la tasa de descuento se utiliza para evaluar proyectos de inversión ya que permite saber si un proyecto será o no rentable.

Gracias a tener claros estos conceptos, y a las nociones de estadística aprendidas durante la carrera, he podido entender cómo funciona una simulación Montecarlo para aplicarlo a mi trabajo, y comprender los resultados obtenidos con los qué, finalmente, realizar un análisis.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

ACEBILLO, J.A. "El subsuelo urbano y las técnicas de ordenación de los servicios públicos. Revista CEUMT (Centre d'Estudis Urbanístics, Municipals i Territorials). Barcelona. 1989.

CURIEL, J. Y CANTÓ, J. “Compatibilidad entre instalaciones en diseño de Galerías de Servicio.” Universidad Politécnica de Valencia. Actas del Congreso VI International Congress On Project Engineering. Barcelona. Octubre 2002.

CURIEL, J. Y CANTÓ, J. “Factores ergonómicos en galerías de servicio”. Universidad Politécnica de Valencia. VI International Congress On Project Engineering. Barcelona. Octubre 2002.

PEÑA SANCHEZ DE RIVERA. “Deducción de distribuciones: El método Montecarlo”. Daniel (2001)

SAUL TORRES ORTEGA. 2016. Módulo 2. Gestión económica. Disponible en:  
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFPbnxzYXVsdG9ycmVzb3J0ZWdhfGd4OjNmODhhOTUwNDVjZGFIMjg>

La gran enciclopedia de economía. 2009. Análisis coste-beneficio. Disponible en:  
<http://www.economia48.com/spa/d/analisis-coste-beneficio/analisis-costebeneficio.htm>

AURELIO HERNANDEZ MUÑOZ. Catedrático de Ingeniería Sanitaria y ambiental. “Galerías de servicios. Elementos fundamentales para la calidad Urbana” E.T.S Ingenieros, Canales y Puertos de Madrid. Disponible en:  
<https://www.coam.org/media/Default%20Files/fundacion/biblioteca/revista-urbanismo/docs-2/revista-urbanismo-n32-pag6-11.pdf>

BORTUBO S.A. Marcos prefabricados de hormigón. Disponible en:  
[http://www.bortubo.com/productos/productos-marco\\_ha\\_2.00\\_x\\_3.00\\_x\\_2.00-251.aspx](http://www.bortubo.com/productos/productos-marco_ha_2.00_x_3.00_x_2.00-251.aspx)

NACIONES UNIDAS. Departamento de asuntos Económicos y Sociales. Disponible en: <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO (BOE)

NORMAS TECNOLÓGICAS DE LA EDIFICACIÓN (NTE)

INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARÍA (ITC)

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS (MOP). 1976

## 9 INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ZANJA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE .....	14
FIGURA 2: ZANJA PARA EL DRENAJE Y SANEAMIENTO .....	15
FIGURA 3: ZANJA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA .....	16
FIGURA 4: ZANJA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	17
FIGURA 5: ZANJA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE GAS .....	18
FIGURA 6: ZANJA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES. ....	19
FIGURA 7: COLOCACIÓN DE LAS DISTINTAS ZANJAS .....	20
FIGURA 8: MARCO PREFABRICADO DE HORMIGÓN.....	26
FIGURA 9: GALERÍA HORIZONTAL PARA CALLES DE SENTIDO ÚNICO Y DOBLE SENTIDO .....	27
FIGURA 10: : GALERÍA HORIZONTAL PARA AVENIDAS.....	27
FIGURA 11: GALERÍA VERTICAL PARA CALLES DE SENTIDO ÚNICO Y DOBLE SENTIDO .....	28
FIGURA 12: GALERÍA VERTICAL PARA AVENIDAS.....	28
FIGURA 13: SECCIÓN CALLE SENTIDO ÚNICO.....	30
FIGURA 14: SECCIÓN CALLE DE DOBLE SENTIDO .....	30
FIGURA 15: SECCIÓN AVENIDA .....	31
FIGURA 16: ESCENARIO DE SUCESOS.....	48
FIGURA 17: HISTOGRAMA ZANJAS. SENTIDO ÚNICO (ESTÁNDAR. 30 AÑOS) .....	51
FIGURA 18: COMPARACIÓN DE LOS HISTOGRAMAS DE ZANJAS Y GALERÍA DE LAS CALLES DE SENTIDO ÚNICO. (ESTÁNDAR. 30 AÑOS).....	52
FIGURA 19: COMPARACIÓN DE LOS HISTOGRAMAS DE ZANJAS Y GALERÍA DE LAS CALLES DE SENTIDO ÚNICO. (PESIMISTA. 30 AÑOS) .....	54
FIGURA 20: COMPARACIÓN DE LOS HISTOGRAMAS DE ZANJAS Y GALERÍA DE LAS CALLES DE SENTIDO ÚNICO. (PESIMISTA. 100 AÑOS) .....	56

## 10 INDICE DE TABLAS

TABLA 1: COSTES DE CONSTRUCCIÓN .....	3
TABLA 2: COSTES TOTALES PASADOS 30 AÑOS.....	3
TABLA 3: PROBABILIDADES DE FALLO DE LAS DISTINTAS VIDAS ÚTILES .....	4
TABLA 4: CONSTRUCTION COSTS.....	7
TABLE 5: TOTAL COSTS AFTER 30 YEARS .....	7
TABLE 6: PROBABILITY OF FAILURE OF DIFFERENT LIFETIMES .....	8
TABLA 7: SEPARACIONES MÍNIMAS ENTRE LAS INSTALACIONES URBANAS .....	20
TABLA 8: SEPARACIÓN ENTRE INSTALACIONES SEGÚN NTE - IFA .....	22
TABLA 9: SEPARACIÓN ENTRE INSTALACIONES SEGÚN RBT .....	24
TABLA 10: COMPARACIÓN DE LOS COSTES DE CONSTRUCCIÓN .....	38
TABLA 11: COMPARACIÓN COSTES A LOS 30 AÑOS.....	49
TABLA 12: PROBABILIDAD DE FALLOS DE LOS SERVICIOS.....	50
TABLA 13: ZANJAS VS GALERÍA (30 AÑOS) .....	53
TABLA 14: PROBABILIDADES DE FALLO DE LAS DISTINTAS VIDAS ÚTILES.....	54